Ueber Submarine Erdbeben und Eruptionen

Emil Rudolph

BRANNER
GEOLOGICAL LIBRARY

STANFORD UNIVERSITY LIBRARIES

551.21
J.C. Brauner

Ueber

submarine Erdbeben und Eruptionen.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doctorwürde

eingereicht bei der

philosophischen Facultät der Kaiser-Wilhelms-Universität Strassburg

von

E. Rudolph.

Mit 3 Tafeln.

Stuttgart.

E. Schweizerbart'sche Verlagshandlung (E. Koch).

1887.

Digitized by Google

551.2218
R917

675823

K. Hofbuchdruckerei Zu Guttenberg (Carl Grüninger) in Stuttgart.

Digitized by Google

Ueber submarine Erdbeben und Eruptionen.

Von

E. Rudolph.

Mit Tafel IV—VI.

Es ist eine allbekannte Thatsache, dass ebenso wie das Festland, auch die suboceanischen Theile der Erdrinde seismischen Erschütterungen unterworfen sind; den Erdbeben stehen die Seebeben gegenüber. Während wir aber mit den mannigfachen Erscheinungen und Vorgängen, welche ein Erdbeben hervorruft, durch zahlreiche treffende Schilderungen völlig vertraut sind und durch die Forschungen der Seismologie in den mechanischen Charakter eines bestimmten Erdbebens immer tiefer eindringen, ja sogar schon, so weit es bei dem gegenwärtigen Standpunkt unseres Wissens möglich ist, eine befriedigende Erklärung des ganzen Phänomens kennen gelernt haben, ist über die Seebeben eigentlich nichts weiter bekannt als die nackte Thatsache ihres Vorkommens. Höchstens haben die sogenannten Erdbebenfluthwellen, jene mächtige Fluthbewegung des Meeres, die im Gefolge mancher Erdbeben auftritt und an den Küsten der Continente meist grössere Verheerungen anrichtet als die Erderschütterung selber, zu wissenschaftlichen Untersuchungen Anlass gegeben, die sich aber weniger auf eine Erklärung des Phänomens beziehen, als vielmehr die Erörterung der Wellenbewegung und die daraus sich ergebenden Schlüsse auf die mittlere Meerestiefe zum Gegenstand haben.

Digitized by Google

Und doch ist eine wenn auch nur allgemeine Kenntniss des seismischen und vulkanischen Zustandes des Meeresbodens von hoher Wichtigkeit für die Geophysik, da unstreitig die Beurtheilung und Entscheidung mancher bisher noch ungelösten Frage der Physik der Erdrinde wesentlich mitabhängt von den neuen Resultaten, welche sich aus der vulkanologischen und seismologischen Forschung ergeben. Die Bodengestaltung der grossen Meeresbecken und ihre Ablagerungen, mit deren Beschaffenheit und Verbreitung uns erst die neuere Tiefseeforschung bekannt gemacht hat, lässt ohne Zweifel manchen Schluss auf die Entwicklung und Geschichte der Erdrinde ziehen; über die gegenwärtige Stellung des Bodens der Tiefsee dagegen in dem Gefüge der Erdkruste, über seine Beziehungen zum Erdinnern, über die tektonischen Vorgänge innerhalb des Bodens selber kann uns nur eine genaue Kenntniss des Wirkens der beiden mächtigsten geodynamischen Kräfte, der seismischen und vulkanischen einigen Aufschluss gewähren.

Aber auch abgesehen von dem rein wissenschaftlichen Interesse, welches die in Rede stehende Frage für die Geophysik bietet, hat die vorliegende Untersuchung auch eine ganz reale Bedeutung für die nautischen Kreise. Ist es doch gerade das Meer, dem der Seemann jeden Augenblick die vollste Aufmerksamkeit zu widmen hat, die Atmosphäre und nicht zum geringsten das eigene Schiff, die unter Umständen in eigenthümlicher Art durch ein Seebeben in Mitleidenschaft gezogen werden können. Eine möglichst genaue Einsicht in den Verlauf des Phänomens, seine Wirkungen und etwaigen Folgen wird den Seefahrer zunächst und vor allem in Stand setzen, vorkommenden Falls das Ereigniss richtig zu deuten und danach seine Maassregeln zu treffen; sie wird ihn dann ferner befähigen, besser als es bisher geschehen ist, Beobachtungen darüber anzustellen und so auch der Wissenschaft mittelbar einen Dienst zu erweisen.

Der ersten und unerlässlichen Vorbedingung zum Verständnisse der hierher gehörigen Erscheinungen oder gar zur Erklärung derselben, nämlich der Beibringung eines hinreichenden und zuverlässigen Beobachtungsmaterials ist, wie es in der Natur der Sache liegt, nur in unvollständigem Grade zu genügen, und zwar aus mehr als einem Grunde. Die Beschreibung der Thatsachen ist nämlich erstens in vielen Fällen eine so mangelhafte und ungenaue, dass sich aus derselben nichts weiter entnehmen lässt als das Factum, dass an dem betreffenden Orte ein Seebeben stattgefunden

Digitized by Google

hat. Und dieser Vorwurf trifft nicht etwa bloss für frühere Zeiten zu, auch noch aus unseren Tagen liessen sich genug Beispiele einer solchen ungenügenden Berichterstattung anführen. Ferner ergiebt sich aus einer Prüfung mehrerer, besonders älterer Schiffsberichte, dass das ganze Phänomen nicht erkannt und in Folge dessen falsch ausgelegt wurde. So kam es, dass auf älteren Karten namentlich des nördlichen und äquatorialen atlantischen Oceans eine Menge von angeblichen Untiefen verzeichnet waren an Stellen, die nach den neuesten Lothungen mit zu den tiefsten nicht bloss des Atlantic, sondern überhaupt aller Weltmeere gehören. Erst die Tiefseeforschung der letzten Jahrzehnte hat hierin gründliche Änderung geschaffen; auf den neuesten englischen Seekarten und ebenso auf der Tiefenkarte für den Nordatlantic, welche dem von der deutschen Seewarte herausgegebenen „Segelhandbuch für den atlantischen Ocean" beigegeben ist, sind diese vermeintlichen Bänke und Riffe weggelassen, während sich noch in der neuesten Ausgabe von Stieler's Handatlas auf der Tiefenkarte für den nördlichen atlantischen Ocean eine vermeintliche Prinzen-Bank und eine Passodnik-Bank unter dem Aequator angegeben finden, an einer Stelle, die jahraus jahrein von einer grossen Anzahl von Schiffen, welche die Linie schneiden, passirt wird. Und doch ist von Unglücksfällen, welche auf ein etwaiges Auffahren auf eine Klippe zurückzuführen wären, nichts bekannt, wohl aber werden wir die dem St. Pauls-Felsen benachbarten Meerestheile als eine seismisch stark erregte Gegend kennen lernen. Eine Zusammenstellung und Kritik der erwähnten Berichte enthält das „Mercantile Marine Magazine" (Januar 1869), mitgetheilt in Petermann's Mittheilungen, XV, 1869, S. 96.

Vor allem ist aber der oben gestellten Forderung deswegen nicht nachzukommen, weil sicherlich die meisten Berichte über Seebeben überhaupt noch nicht zur Veröffentlichung gelangt sind. So sind z. B. die Schiffsjournale des gewiss reichhaltigen Archivs des Londoner „Meteorological Office" auf die allgemeinen Bemerkungen hin noch gar nicht durchgearbeitet. Das meiste Material wird also wohl noch in den Archiven der meteorologischen und hydrographischen Ämter der seefahrenden Nationen verborgen ruhen.

Daher ist es denn nicht zu verwundern, wenn unser im Anhang beigefügtes Verzeichniss der Seebeben hinter den gleichartigen Erdbebenkatalogen noch sehr zurücksteht.

Eine Reihe von älteren Berichten aus den Jahren 1747—1836

Digitized by Google

veröffentlichte Daussy in einem Aufsatz (C. R.[1] VI, 1853, S. 512) unter dem Titel: „Sur l'existence probable d'un volcan sousmarin situé par environ 0° 20′ de lat. S. et 22° 0′ de long. ouest.“ Robert Mallet beschränkt sich in seinem vierten Bericht „On the Facts and Theory of Earthquake Phenomena“ (R. Br. A. 1858, London 1859) darauf, diese Berichte einfach wiederzugeben, obgleich schon 10 Jahre vorher A. Perrey in seinen „Documents sur les tremblements de terre et les éruptions volcaniques dans le bassin de l'océan atlantique“ (M. A. D. 1847—1848, Partie des Sciences, S. 1) eine grössere Anzahl für das gleiche Gebiet gesammelt hatte. Bessere Ausbeute lieferte neben dem schon 1852 erschienenen Erdbebenkatalog von R. Mallet, der bis zum Jahre 1842 reicht, dessen Fortsetzung, welche A. Perrey bis zum Jahre 1871 führte.

In den englischen Segelanweisungen für den Nord- und Südatlantic von Findlay und Imray sind zu den schon bekannten Fällen noch einige Berichte von englischen Schiffen hinzugefügt.

Die von deutschen Schiffen stammenden Nachrichten werden seit 1877 von der deutschen Seewarte in den Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie mitgetheilt. Für die früheren

---

[1] Die Citate sind wegen der häufigen Wiederholung möglichst abgekürzt; bei Zeitschriften ist ausser der Nummer des Bandes stets noch die Jahreszahl hinzugefügt. In den Citaten bedeutet demnach:

M. A. D. = Mémoires de l'Académie de Dijon
B. A. Br. = Bulletins de l'Académie de Bruxelles
M. A. Br. = Mémoires de l'Acad. de Bruxelles
} A. Perrey, Note sur les tremblements de terre.

A. J. Sc. = American Journal of Science and Arts.
A. H. = Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie.
A. O. P. = Atlantic Ocean Pilot. von Imray.
Q. J. G. S. = Quaterly Journal Geological Society of London.
J. N. = Journal-Nummer des Archivs der deutschen Seewarte.
C. R. = Comptes Rendus des Séances de l'Académie des Sciences. Paris.
N. M. = Nautical Magazine.
D. Q. J. Sc. = Dublin Quaterly Journal of Science.
R. Br. A. = Report of the British Association for the Advancement of Science.
Mal. Cat. = Mallet, Catalogue of recorded Earthquakes. (Rep. British Association.)
Med. K. N. M. J. = Mededeelingen uit de Journalen, aangaande bijzondere Meteorol. Verschijnselen etc. uitgegeven door het Kon. Nederl. Meteorol. Institut. Utrecht 1867.
„ „ „ „ „ = Reizen door de Chinesche Zee en onderzoekingen aangaande Winden enz. 1. deel. uitg. door het K. Ned. Met. Inst. Utrecht 1879.
Sitzb. K. A. W. W. = Sitzungsberichte der Kais. Akademie der Wissenschaften in Wien.

Digitized by Google

Jahrgänge durfte ich die Journale des Archivs der deutschen Seewarte an Ort und Stelle nachsehen[1].

Die regelmässig erscheinenden, jährlichen Übersichten über die vulkanischen Ereignisse von C. W. C. Fuchs in „Tschermak, Mineralogische Mittheilungen", sowie die Berichte über die amerikanischen Erdbeben von C. G. Rockwood in „American Journal of Science" lieferten ebenso wie die „Nature" und andere Zeitschriften gelegentlich einige Beispiele.

Das aus diesen Quellen geschöpfte Material genügt leider durchaus noch nicht, um über einzelne wichtige Punkte unserer Frage, wie Fortpflanzungsgeschwindigkeit des submarinen Erdbebenstosses, Ausdehnung des Schüttergebietes und besonders geographische Verbreitung der Seebeben schon jetzt eine definitive Bestimmung zu ermöglichen; nur unsere Ansicht von der Natur des Phänomens möchte auch durch neue Mittheilungen wohl kaum eine Änderung erfahren.

Theoretische Untersuchungen, welche sich speciell mit der physikalischen Seite der Erscheinung beschäftigen, besitzen wir nicht. In den geologischen und geophysikalischen Lehrbüchern geschieht der submarinen Erdbeben in den betreffenden Abschnitten nur so nebenher Erwähnung, und zwar meistens in Verbindung mit den grossen Erdbebenfluthwellen, über die allerdings einige interessante Abhandlungen vorliegen. E. Geinitz, „Das Erdbeben von Iquique am 9. Mai 1877 und die dadurch erzeugte Fluth im grossen Ocean" (Petermann's Geogr. Mittheil. 1877, S. 454), behandelt dieselben Fragen wie sowohl F. v. Hochstetter in seinen drei Abhandlungen über das Erdbeben in Peru vom 13. Aug. 1868 und die dadurch veranlassten Fluthwellen im Pacifischen Ocean (Sitzungsberichte der K. Akad. der Wissenschaften. Wien, 58. Bd., 2. Abth., 1868 u. 60. Bd. 1869), als auch J. Milne, „The Peruvian Earthquake of May 9th, 1877" (Transactions of the Seismological Society of Japan, vol. II. 1880), der noch einen Schritt weiter geht als seine Vorgänger und vermittelst geometrischer und analytischer Methoden das Centrum und den Zeitpunkt des Erdbebens zu bestimmen sucht. An diese peruanische Erdbebenfluth anknüpfend

[1] Es sei mir an dieser Stelle gestattet, dem Geh. Admiralitätsrath Herrn Prof. Dr. Neumayer, Director der Seewarte, für die freundliche Aufnahme, sowie den Herren Capt. Dinklage, Vorsteher der 1. Abtheilung, und Capt. Haltermann für die freundliche Unterstützung, die sie mir bei meinen Forschungen im Archiv der Seewarte zu Theil werden liessen, meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

Digitized by Google

führten Graf Berg, Geinitz und G. Rachel in „Gaea“ Bd. 17 und 18 eine längere Polemik über die Ursache der Entstehung derselben, auf die wir im Verlauf unserer Untersuchung noch näher eingehen werden. Grössere Bedeutung haben für uns nur zwei Arbeiten: R. Mallet, „On the Dynamics of the Earthquakes“, (Irish Academy Transactions, vol. 21, 1848) und W. Hopkins, „Report on the Geological Theories of Elevation and Earthquakes“, Part II, Section II (R. Br. A. 1847. London 1848). Mallet machte den ersten Versuch, auf physikalischer Grundlage die bekannten Erdbebenphänomene auf die Gesetze der Wellenbewegung im Festen und Flüssigen zurückzuführen, während Hopkins die Gesetze über Bildung und Fortpflanzung einer Elasticitätswelle darauf anwandte und Mallet's Theorie in eine mathematische Form brachte. Pilar endlich glaubt mit Hilfe seiner Theorie der Hub- und Senkschollen sowohl die submarinen Erdbeben wie die grossen Fluthwellen erklären zu können.

Wie aus der soeben gegebenen Übersicht über die Quellen und Bearbeitungen hervorgeht, ist das Material dürftig wie die Vorarbeit gering. Wenn trotzdem hier der Versuch gewagt wird, der Frage näher zu treten, so geschieht es weniger in der Absicht schon jetzt alle Punkte erklären zu wollen, als vielmehr um einerseits auf die Wichtigkeit des Problems für die Geophysik hinzuweisen; andererseits würde es dem Verfasser zur hohen Genugthuung gereichen, wenn die hydrographischen Ämter sich durch die vorliegende Untersuchung veranlasst sähen, das etwa vorhandene Material zur Veröffentlichung zu bringen und nach dem höchst anerkennenswürdigen Vorgange der deutschen Seewarte den Seefahrern „im Interesse wissenschaftlicher Forschung eine besondere Aufmerksamkeit auf die in Rede stehende Erscheinung zu empfehlen.“

Um nun zu einem möglichst allseitigen und richtigen Verständniss des Phänomens zu gelangen, wollen wir in dem ersten Abschnitt den Verlauf desselben, die mannigfach wechselnde Art seines Auftretens und die mechanischen Wirkungen auf die Schiffe, Atmosphäre und besonders die oceanische Wassermasse ins Auge fassen. Der zweite Theil wird eine theoretische Erklärung des Vorganges auf Grundlage der physikalischen Gesetze über die Wellenbewegung im Festen und Flüssigen enthalten; dieselbe wird uns dazu führen, einen Unterschied zwischen den submarinen Erdbeben und den Fluthwellen in Bezug auf ihre Entstehung zu constatiren. Im dritten Capitel soll alsdann die geographische Ver-

Digitized by Google

breitung der Seebeben, submarinen Eruptionen und Fluthwellen dargelegt werden, so weit es bei dem zu Gebote stehenden Material möglich ist. Der letzte Abschnitt wird in aller Kürze die verschiedenen Ansichten über den Zustand der suboceanischen Erdrinde bringen und im Anschluss daran auf die mögliche Ursache der submarinen Erdbeben und Eruptionen hinweisen. Als Anhang ist ein chronologisch geordnetes Verzeichniss der Seebeben gegeben. Die beigefügte Übersichtskarte veranschaulicht die geographische Verbreitung der submarinen Erdbeben und Eruptionen sowie der Fluthwellen. Die Tiefencurven sind für den atlantischen Ocean nach der dem Segelhandbuch der deutschen Seewarte beigegebenen Karte eingetragen; für den indischen Ocean und den Pacific sind an den in Betracht kommenden Stellen die Tiefen nicht genügend bekannt.

I.

Suchen wir zunächst das Wesen eines Seebebens in möglichst präciser Weise zu definiren. J. Roth, „Über die Erdbeben“ (Sammlung wissenschaftl. Vorträge, herausg. von Virchow und Holtzendorff. XVII. Ser. Heft 390), fasst alle Erscheinungen, welche seiner Ansicht nach Erdbeben hervorrufen, wenn sie vom Festland auf die Wassermasse des Oceans übergehen oder vom Meeresboden selbst ihren Ausgang nehmen, also Erschütterungen des Meereswassers, Stosswellen, Schwankungen des Meeresspiegels, Überfluthungen der Küsten und Rückzüge des Meeres, als Seebeben zusammen und begreift die Bewegungen der grossen Binnenseen mit darunter. Der Begriff ist hier wie auch von v. Sonklar in seiner Schrift „Von den Überschwemmungen“ (Wien 1883) viel zu weit gefasst, wenn auch letzterer ihn dadurch etwas einschränkt, dass er als Centrum immer einen Punkt im Bereiche des Meeres annimmt. Dass eine Fluthbewegung auch infolge eines continentalen Erdbebens, d. h. eines solchen, dessen Centrum auf dem Lande liegt, entstehen könne, stellt v. Sonklar entschieden in Abrede. S. Günther war der erste, der in seinem Lehrbuch der Geophysik und physikalischen Geographie, I. S. 376, die Ansicht aussprach, dass, strenge genommen, die eigentlichen Seebeben im engeren Sinne, bei denen Schiffe bei ruhiger See zu schwanken beginnen, das umgebende Wasser aufzische, Blasen treibe und Gasgerüche aushauche, nicht zusammengeworfen werden sollten mit den gigantischen Fluthen, die im Gefolge eines jeden litoralen Erdbebens aufzutreten pflegten. Indessen, meint er, könne diese Unterscheidung wohl nur in den sel-

Digitized by Google

tensten Fällen wirklich gemacht werden. Grade diese Unterscheidung lässt sich durchführen und muss gemacht werden, will man nicht Erscheinungen, die genetisch in keiner Beziehung zu einander stehen, zusammenwerfen. Ganz ungerechtfertigt scheint es mir aber, jedes aussergewöhnliche und plötzliche Ansteigen des Meeres an den Festlands- und Inselküsten als Seebeben zu bezeichnen und, wie es noch immer geschieht, aus seismischen Ursachen herzuleiten.

Die neueren Forschungen der Seismologie haben uns mit einer Reihe von Bewegungen bekannt gemacht, welchen die Erdkruste aus verschiedenen Ursachen unterworfen ist und zwischen denen ein Unterschied nur in dem Grade der Intensität besteht. Von den Erdpulsirungen, Bewegungen von beträchtlicher Amplitude, aber geringer Periode, den Erdoscillationen, das ist säcularen Schwankungen, und Erderzitterungen, den Wellen von kurzer Periode und sehr geringer Amplitude, unterscheidet J. Milne die Erdbeben als plötzliche und heftige Bewegungen des Bodens, ohne über deren Entstehungsursache irgend eine Voraussetzung zu machen. Beobachtungen mit dem Seismographen lassen erkennen, dass die Erdwelle sich aus drei Bewegungscomponenten zusammensetzt, einer normalen, transversalen und verticalen Welle, deren respective Geschwindigkeit eine sehr verschiedene ist. Fassen wir also Erdbeben als locale Erschütterungen des Erdbodens auf, welche sich vermöge der Elasticität des Mediums in demselben als Wellen von einem oder mehreren Punkten aus zu benachbarten Theilen ausbreiten, so definiren wir Seebeben als solche Erschütterungen, deren Ursprung im Meeresboden liegt und die sich, auf die oceanische Wassermasse übergehend, in derselben als Elasticitätswellen fortpflanzen. Bei dieser Begriffsbestimmung ist weder über die die seismische Erschütterung bewirkende Ursache eine Voraussetzung gemacht, noch auf die etwaigen Folgen des Seebebens Rücksicht genommen. Nur in der Nähe der Festlandsküsten macht die Entscheidung darüber, ob wir es mit einem Seebeben in dem eben definirten Sinne, also einem submarinen Erdbeben, oder einer Erschütterung des Continentes zu thun haben, durch welche auch der benachbarte Meeresboden in Mitleidenschaft gezogen wurde, bisher noch Schwierigkeiten, so lange keine seismographischen Aufzeichnungen über jedes einzelne Erdbeben vorliegen.

Wenden wir uns nun zur Sache selbst, so möchte es sich wohl empfehlen, einige von den wenigen Schiffsberichten über sub-

Digitized by Google

marine Erdbeben, die wir als Muster in ihrer Art hinstellen können und welche gleichzeitig die wesentlichsten Momente der Erscheinung enthalten, der eigentlichen Betrachtung vorauszuschicken.

So berichtet Capt. Gales vom Schiff „*Florence Nightingale*“: „Am 25. Januar 1859 erlitten wir unter 0° 48′ N. Br. und 29° 16′ W. Lg., als der St. Paul's-Felsen etwa 10 Seemeilen gegen NW. z. N. von uns lag, einen heftigen Stoss eines Erd- oder Seebebens. Er begann mit einem rumpelnden Geräusch wie ferner Donner und währte ungefähr 40 Secunden. Ich kenne Erdbeben sehr wohl, denn ich habe viele an der Westküste von Amerika erlebt, aber niemals hatte ich ein so heftiges gefühlt. Gläser und Teller klirrten so arg, dass ich mich wunderte, sie unversehrt zu finden, mehrere Gegenstände fielen zu Boden und es war, als wenn das Schiff schwer auf einem Felsenriff hinschleifte. Gleichzeitig erscholl es aus aller Mund: „Das Schiff ist aufgefahren!“ und die Wache kam taumelnd eiligst herauf. Ich war sehr erschrocken und lief nach der Seite des Schiffes, um den Meeresboden zu sehen, aber bald fasste ich mich und beruhigte die Bestürzten durch die Erklärung, dass es nur ein Erdbeben gewesen. Der Himmel war am Morgen hell gewesen, gegen Mittag bildeten sich aber dicke Wolken, die zur Zeit des Erdbebens den ganzen Himmel überzogen hatten, die Luft war schwül. Der Wellenschlag, erst kurz und unregelmässig, gieng in einen schweren Wogengang aus NE. über, der mehrere Tage dauerte. Ob ein Zusammenhang zwischen Erdbeben, Meer und Himmel besteht, weiss ich nicht, es war vielleicht nur ein zufälliges Zusammentreffen, und ich führe einfach die Thatsachen an. Meerestemperatur 80¼° F., keine Veränderung nach dem Stoss“ (Petermann's Geogr. Mittheil. XV, 1869, S. 97).

Einen ähnlichen Bericht lieferte Capt. Hansi von der „*Levuka*“: „Am 28. Januar 1883 hörten wir um 7ʰ 47ᵐ p. m., auf 1° 38′ N. Br. und 27° 40′ W. Lg., bei sehr schönem, klarem Wetter und schwach bewegter See, plötzlich ein eigenthümliches unterseeisches Geräusch, einem entfernten Donner nicht unähnlich, aber besser dem Donner beim Abfeuern schwerer Geschütze zu vergleichen. Zu gleicher Zeit verspürten wir eine Erschütterung des Schiffes, als ob der Anker fallen gelassen würde, oder als wenn man auf dem Hinterdeck eines in Fahrt befindlichen Schraubendampfers stände. Die ganze Erscheinung dauerte etwa 1 Min. Uns alle überkam ein sonderbares Gefühl, als wenn man elektrisirt würde. Die Mannschaft meinte, es müsste ein grosses Stück Holz an der Seite ent-

Digitized by Google

lang getrieben sein. Der Ausguckmann machte die Meldung, dass das Schiff auf Grund gestossen habe. Compass und Aneroid, die ich kaum 20 Secunden nach dem Seebeben beobachtete, verhielten sich vollkommen ruhig; auch war keine aussergewöhnliche Bewegung der Meeresoberfläche bemerkbar. Temperatur der letzteren war 4^h p. m. 26,9° C., 7^h 50^m und 8^h 15^m p. m. 26,5° C.“ (A. H. 1884, S. 245).

Wie in den beiden vorstehenden Berichten, so wird in fast allen der ganz eigenthümliche Eindruck geschildert, welchen ein Seebeben in jedem, der es erlebt, hervorruft. Es ist die Empfindung, als wenn das Schiff den Boden berührt hätte und mit schneller Fahrt darüber hinweg gezogen würde oder als ob es wie beim Stranden auf Grund gerathen wäre oder auf ein Korallenriff gestossen hätte. Ein solches Gefühl ist allerdings geeignet, allgemeinen Schrecken, Bestürzung und Verwirrung unter der Schiffsmannschaft zu verursachen; mit einem Schlage ist das Gefühl der Sicherheit vor Gefahren, die von unbekannten Riffen und Klippen drohen könnten, vernichtet, der Gedanke an eine ernstliche Beschädigung oder gar den Verlust des Schiffes erfasst jeden. Und doch liegt gerade hierin, so widersinnig es scheinen mag, ein wichtiges Kriterium für die Beurtheilung des ganzen Vorganges. Bei dem mehr oder minder starken Seegang, der doch wohl meistens vorhanden ist, wäre ein Schiff, wenn es in der That auf ein Riff gefahren wäre, sofort verloren. Ganz richtig bemerkt daher Capt. Bell vom Schiff „*Sarah Bell*“ in seinem Bericht über das Seebeben, welches er am 3. Juli 1842, 4^h a. m. auf 1° 7′ S. Br. und 21° 21′ W. Lg. empfand: „Das Schwanken des Schiffes überzeugte bald alle von der wahren Ursache, weil, wenn es eine Klippe gewesen wäre, das Schiff bei dem starken Wellenschlag hätte zerschellen müssen, während es so vielmehr seine Fahrt mit der früheren Geschwindigkeit fortsetzte und nicht einen Augenblick innehielt“ (N. M. 1842, S. 646).

Es braucht nicht erst besonders hervorgehoben zu werden, dass die Stärke und Art der Erschütterung, Dauer und Zahl, Richtung und Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Stösse, sowie die Ausdehnung und Gestalt des Schüttergebietes in demselben Maasse wie bei den Erdbeben eine sehr verschiedene ist; ein jeder Punkt erfordert daher eine besondere Betrachtung.

Was zunächst die Intensität und Art des submarinen Erdstosses anbetrifft, so ist es bald nur ein leises, fremdartiges Zittern,

Digitized by Google

welches dieselbe im Schiff hervorbringt und welches auch wohl als Erschütterung bezeichnet wird, die jedoch nicht stärker ist, als wenn die Ankerkette ausläuft oder ein schwerer Gegenstand über Deck gerollt wird; bald macht sich eine stossende Bewegung an Deck wahrnehmbar, wodurch das Schiff ins Schwanken geräth, Masten und Raen erzittern und das Steuerruder hin- und herstösst, so dass das Schiff demselben nicht gehorcht; bei noch stärkeren Stössen werden selbst schwerere Gegenstände umgeworfen und Leute in die Höhe geschleudert; endlich die schrecklichsten Stösse können Schiffe entmasten und arge Beschädigungen anrichten, das ganze Schiff geräth in Convulsionen, als ob es in Stücke fallen wolle. In solcher Stärke treten die Seebeben glücklicherweise nur selten auf, in den weitaus meisten Fällen gehen sie nach längerer oder kürzerer Dauer, ohne ernstlichen Schaden zu verursachen, vorüber.

Um eine deutliche Vorstellung von dem verschiedenen Grade der Intensität zu erhalten, wollen wir einige Beobachtungen über die thatsächlich wahrgenommenen Bewegungen hier zusammenstellen[1]:

Capt. Ankringa vom holländischen Schiff „*Argo*“ empfand am 14. Oct. 1864 bei den Cap Verden dreimal nacheinander mit Pausen von ca. 5 Min. ein unerklärbar fremdartiges Zittern gleich einem Beben im Schiff (Med. K. N. M. J. 1867, S. 15).

Capt. Möller vom Schiff „*Bonie*“ fühlte 1861 am 7. Sept. im ostindischen Archipel eine ungewöhnliche Bewegung, ein Zittern im Schiff (Med. K. N. M. J. 1867, S. 18).

Auf dem holländischen Schiff „*Silentium*“ fühlte man am 13. Oct. 1863 im indischen Ocean ein eigenartiges Zittern durch das Schiff gehen, welches, wie kurze Zeit es auch dauerte, stark genug war, um alle aufzuwecken. Der Capitän glaubte es einem

[1] Bei der Ausarbeitung der vorliegenden Abhandlung stellte es sich als in vielfacher Beziehung nothwendig heraus; eine Reihe von Berichten über Seebeben als Belege für die in der Untersuchung entwickelten Ansichten in den Text einzufügen. Dieselben sind entweder in ihrem vollen Wortlaute mitgetheilt, oder es ist nur der auf den jeweiligen Punkt bezügliche Abschnitt angezogen. Wenn trotzdem ebendieselben Berichte in dem im Anhang veröffentlichten Verzeichniss noch einmal angeführt sind, so könnte eine solche Wiederholung überflüssig erscheinen. Zur Rechtfertigung dieses Verfahrens möge die Bemerkung dienen, dass es von vornherein in der Absicht des Verfassers lag, den Katalog in seinem ganzen Umfange wiederzugeben, damit derselbe gleichsam den Grundstock bilde, an den sich die später zu erwartenden Veröffentlichungen von Berichten anschliessen könnten.

Digitized by Google

Seebeben zuschreiben zu müssen, „angesichts dessen, dass nicht der mindeste Stoss gefühlt ward“ (Med. K. N. M. J. 1867, S. 16).

Capt. Krause von der „*Hilda Maria*“ hörte am 14. Dec. 1872 im Süd-Pacific zuweilen ein Geräusch im Schiff, als wenn der Boden über Grund scheuerte; dabei war ein Zittern im ganzen Schiff zu bemerken, dass selbst die Gläser auf dem Tisch tanzten (J. N. 382).

1846 fühlte man am 25. Febr. in der Nähe der Azoren das Schiff „*Le Cayennais*“ dreimal unter den Füssen erzittern; das Ruder bewegte sich heftig in seinen Angeln (M. A. D. 1847—48).

Bei dem bekannten Erdbeben vom 13. Aug. 1868, das die Westküste von Südamerika erschütterte, lag die Bark „*Don Julio*“, Capt. Hoyer, im Hafen von Mexillones del Peru. Der Capitän meldet, dass das anfangs leichte Erdbeben bald so heftig und schwer wurde, dass man am Deck sich nicht stehend halten konnte (Sitzb. K. A. W. W. 2. Abt. 1869. II. S. 111).

In gleicher Weise spürte man am 28. April 1875 an Bord der Bark „*Red Deer*“ im Süd-Atlantic im Zeitraum von 3 St. nicht weniger als 35 Seebeben, einzelne so stark, dass man auf dem Verdeck nicht gehen konnte (C. W. C. Fuchs, Die vulkan. Ereignisse, in Tschermak's Min. M. 1876). Es erinnert das lebhaft an die Schilderung von manchen Erdbeben, bei denen der Boden aus kleinen Wellen zu bestehen scheint, welche sich heben und senken und die es unmöglich machen, sich an einer Stelle aufrecht zu erhalten, wie es u. a. beim westindischen Erdbeben vom 18. Nov. 1867 beobachtet wurde.

Die angeführten Beispiele liessen sich noch durch eine grosse Anzahl anderer ergänzen; es ist aber zu bemerken, dass in allen nur von einer Erschütterung und zitternden Bewegung des Schiffes die Rede ist. Der Capt. Sartorius fügt in seinem Bericht über das Seebeben, welches er NE. von Terceira im Jahre 1843 empfand, ausdrücklich hinzu, dass es kein plötzlicher Stoss gewesen sei (M. A. Br. 22, 1872, S. 9), und Capt. Thomas vom „*Prince*“ fühlte in der Nähe des St. Paul's-Felsens am 11. Dec. 1858 nur ein plötzliches Zittern durch das ganze Schiff gehen, als wenn es über etwas Rauhes sich hinschleppe, und weiter heisst es, „das Schiff stiess nicht auf den Grund, sondern schleppte sich darüber hin, fast ebenso wie bei einer leichten Bodenscharre über Sand oder Korallen“ (N. M. 1854, S. 509).

Weit häufiger äussert sich indessen die seismische Thätigkeit

Digitized by Google

des Meeresbodens in einer grösseren oder geringeren Anzahl von meist heftigen Stössen, die entweder ganz plötzlich auftreten, oder, was allerdings seltener vorkommt, eine längere Phase der Erschütterung unterbrechen. Besonders in dem Falle, wenn die ganze seismische Kraft sich in einem oder zwei Stössen erschöpfte, lag die Annahme nahe, das Schiff habe die Spitze eines Riffes berührt. Je nach der Richtung nun, in der ein solcher Stoss den Schiffskörper trifft, wird die mechanische Wirkung auf diesen selbst eine besondere sein.

Das holländische Schiff „*Copernicus*", Capt. Prater, erhielt am 11. März 1855 in den äquatorialen Gebieten des Atlantic schwere Stösse und Erschütterungen, so dass Alles auf Deck in einer heftig zitternden und stossenden Bewegung war und die Masten im Schiff zitterten (Med. K. N. M. J. 1867, S. 14). Capt. Dugaste vom französischen Schiffe „*Eucharis et Paul*" berichtet, dass er im Indischen Ocean einen so heftigen Stoss erfuhr, dass das Schiff in allen seinen Theilen erschüttert ward. Mehrere Gegenstände wurden in den Kajüten durch die Vehemenz des Stosses umgeworfen. Die Fische wussten nicht, wohin sie sich flüchten sollten, mehrere wurden bis zu bedeutender Höhe aus dem Meere geschleudert (C. R. 55, 1862, S. 200). Bedeutend stärker wurde „*Willy*" am 2. Dec. 1883 am südlichen Eingang in die Ombay-Strasse getroffen. Capt. Henne meldet: „Wir spürten einen so heftigen Stoss im Schiff, dass die ganze Mannschaft sofort auf den Beinen war; dem Mann am Ruder flog das Rad fast aus der Hand, ich selbst wurde an Deck niedergeschleudert" (J. N. 2146). Ebenso wurden bei dem bekannten Erdbeben von Lissabon, am 1. Nov. 1755, an Bord eines Schiffes, das W. von St. Vincent stand, die Leute $1\frac{1}{2}$ Fuss in die Höhe geworfen. Auf dem Schiff „*Denia*" sprangen bei derselben Gelegenheit die Fugen des Decks auf und wurde der Compass im Gehäuse abgeworfen (Lyell, Principles of Geology. 10. Aufl. Bd. II. S. 149). Auf dem Dampfschiff „*Suriname*" rissen bei dem Seebeben vom 13. Dec. 1858, in der Nähe von Ternate, die eisernen Bodenplatten im Maschinenraum auf (Med. K. N. M. J. 1867, S. 17), und das dänische Schiff „*Tjalfe*" erlitt am 1. Sept. 1885 im Nord-Atlantic zwei kräftige Stösse, von denen der erste ausserordentlich stark war, so dass man glauben musste, das Schiff sei im Begriff zusammenzufallen (A. H. 13, 1885, S. 655). Virlet d'Aoust theilt in einem Aufsatz über Erdbeben (Bullet. Soc. Géol. de France III. Sér. 13, 1885, S. 448) mit, dass er an

Digitized by Google

der Küste Kleinasiens ein Seebeben erlebt habe. „Unser Schiff, das sich grade über dem Epicentrum befand, wurde dermaassen erschüttert, dass der Commandant, Admiral Bruart, im ersten Augenblick eine gänzliche Zertrümmerung der Corvette befürchtete.“ Der französische Gelehrte erkannte darin sofort die gefährlichen Wirkungen eines heftigen verticalen submarinen Stosses. Einen solchen müssen wir ebenfalls als Ursache der Erschütterungen nicht bloss in den wenigen angeführten Fällen annehmen, wo die Thatsache, dass Gegenstände selbst von beträchtlichem Gewicht, wie die Kanonen eines Kriegsschiffes, emporgeschleudert werden, von selbst darauf führt, sondern überhaupt für alle, in denen die Erschütterung als durch Stösse hervorgerufen angegeben wird, wenn dieselben wegen ihrer geringeren Intensität auch nicht gerade eine solche fortschleudernde Kraft zeigen.

Virlet d'Aoust erwähnt bei der Gelegenheit noch eine andere Erscheinung, in der wir nur eine Bestätigung unserer Ansicht von der Natur eines solchen Stosses erblicken können. Die Corvette wurde nämlich während der Erschütterung zugleich „heftig in die Höhe gehoben“. Diese Beobachtung steht nicht etwa vereinzelt da; nach einer Mittheilung des Commandanten Powell wurden bei dem zerstörenden Erdbeben vom 13. Aug. 1868, welches die Westküste von Südamerika von Guayaquil bis Valdivia erschütterte, die Schiffe im Hafen von Callao auf und nieder gestossen (N. M. 37, 1868, S. 618); gleiche Beachtung verdient das Zeugniss des Capt. Trompetter vom Schiff „*Stephan*“, nach welchem man bei dem Seebeben vom 9. Nov. 1883 in der Ombay-Strasse deutlich unter den Füssen fühlte, wie das Schiff sich hob (J. N. 2052). Die Reisenden des Postdampfschiffes „*Clyde*“ erklärten, das Erdbeben, welches am 7. Sept. 1882 den Isthmus von Panama durchsetzte, an Bord heftig gefühlt zu haben; es habe den Anschein gehabt, als wenn das Schiff wirklich von der See emporgehoben würde und dann wieder niederfalle (Nature, XXVI, 1882, S. 583; XXVII, 1882—83, S. 248); bei dem grossen submarinen Erdbeben vom 22. Dec. 1884 zwischen den Azoren und Madeira meinte Capt. Spray vom „*Maroon*“, wie ich einer freundlichen Mittheilung seinerseits entnehme, er habe das Gefühl gehabt, dass sie entweder die Schraube verloren oder irgend ein Wrack berührt hätten; nach der Aussage des wachhabenden Officiers habe es geschienen, als ob das Wasser plötzlich das Schiff sich selber überlasse und die Schraube in der Luft arbeite (s. die kurze Notiz in der Nature, XXXI, 1884—85,

Digitized by Google

S. 316). Das auffallendste und unzweideutigste Beispiel liefert aber wohl die Brigg „*Simproniana*“, die am 25. Sept. 1855 beim Einlaufen in den Hafen von Truxillo, Honduras, durch einen starken verticalen und von ESE. nach WNW. fortschreitenden horizontalen Stoss emporgehoben wurde und wie eine Bleimasse wieder niederfiel, so dass das Wasser rund herum aufspritzte. „Unser Schiff schien sich zu heben, während wir das dumpfe Geräusch langsam von ESE. herannahen hörten. Die Bewegung nahm schnell zu in dem Maasse, wie der Lärm sich näherte, schien dann das Schiff sich selbst zu überlassen und nahm an Intensität ab, wie der Lärm, als dieser nach WNW. weiter zog“ (M. A. Br. 21, 1870; 22, 1872).

Noch kürzlich fühlten bei dem Erdbeben von Charleston am 31. Aug. 1886 einige Schiffer, die an den Werften von Savannah lagen, ihr Fahrzeug plötzlich sich heben, erzittern und dann sich senken (New York Herald, 1886, Sept. 2. u. 3).

Wenn in einem Falle, in dem Berichte über das auch in anderer Hinsicht höchst charakteristische Seebeben, welches Dr. J. M. Barry am 17. Nov. 1865 auf dem Schiffe „*Orient*“ auf der Fahrt von Adelaide nach London im Süd-Pacific mit erlebte, nur davon die Rede ist, dass in dem Augenblick, als das Schiff die angeblich gefährliche Stelle passirt hatte und das scheuernde Gefühl aufhörte, der Stern herunter gezogen zu werden schien, so darf uns das nicht Wunder nehmen; bei dem allgemeinen Schrecken, den die wahrhaft fürchterliche Erschütterung verursachte, die in allen die höchste Angst erweckte, das Schiff stehe im Begriff auseinander zu fallen und werde im nächsten Augenblick untergehen, ist es sehr leicht erklärlich, dass man nur das Einsinken des Schiffes bemerkte (D. Q. J. Sc. VI, 1866, S. 199).

Mehrfach ist in den Berichten dem Erstaunen darüber Ausdruck gegeben, dass das Schiff trotz der Vehemenz des Stosses nicht einen Augenblick in der Fahrt innegehalten, sondern im Gegentheil dieselbe mit der bisherigen Geschwindigkeit ruhig fortgesetzt habe. Eine derartige Bemerkung lässt darauf schliessen, dass in den Kreisen der Seefahrer die Thatsache, dass ein Schiff durch ein Seebeben im Gange verlieren oder gar am Weitersegeln behindert werden könne, bekannt sein muss. Und in der That meldet Capt. Tombarel vom „*Comte Roger*“, dass im Augenblick des Stosses — welchen er in der Nähe der Cap Verden am 16. Juni 1854 verspürte und in Folge dessen, obwohl derselbe nur 1—2 Sec.

Digitized by Google

dauerte, die Wache aufs Verdeck fiel — das Schiff einen Augenblick anzuhalten und ins Meer zu sinken schien, unmittelbar darauf aber seine Fahrt wieder aufnahm (B. A. Br. 22, 1, 1855). Die begleitenden Umstände lassen keinen Zweifel daran aufkommen, dass es in diesem Falle der Effect eines Verticalstosses war ebenso wie bei dem verheerenden Erdbeben auf den westindischen Inseln vom 8. Febr. 1843, wo zwei Schiffe, vor der Insel Antigua ein Themse-Dampfschiff und in Sicht der Felsinsel Redondo das französische Kriegsschiff „*Juvencelle*“, welches mit dem Passat gieng und 7 Sm. in der Stunde machte, plötzlich stoppten, als wenn sie auf einen Felsen gerathen wären (N. M. 14, S. 170; 16, S. 263 und San Francisco Prices Current 1858 Juni 26). An nichts anderes haben wir zu denken, wenn wir lesen, dass bei dem bekannten Erdbeben von Peru am 9. Mai 1877 das Dampfschiff „*John Elder*“, während es von Valparaiso nördlich nach Callao fuhr und zwar mit voller Geschwindigkeit, auf der Höhe von Antofagasta durch den Stoss volle 4—5 Min. angehalten wurde (C. W. C. Fuchs, Vulkanische Erscheinungen, Tschermak, Min. M. 1878, S. 120). Diese auffallende Thatsache wird sofort erklärlich, wenn wir bedenken, dass die Vibration sich im Schiff von vorn nach hinten fühlbar machte. Leider ist nicht bekannt, wie das Schiff in dem Augenblick des Stosses stand; wenn wir annehmen, dass es einen im Allgemeinen nördlichen Curs hielt, vielleicht mit einer geringen Abweichung nach W., so würde die daraus zu entnehmende Fortpflanzungsrichtung eine erwünschte Bestätigung des Resultates geben, zu welchem J. Milne gelangte, der das Epicentrum in 21° 22′ S. Br. und 71° 5′ W. Lg. bestimmte (Transact. Seism. Soc. Japan, II, 1880). Setzen wir nun den Fall, ein verticaler Stoss, der in einer bestimmten Richtung fortschreitet, treffe das Schiff von der einen Seite, so wird derselbe unter Umständen, nämlich wenn die Intensität eine bedeutende ist, die gleiche Wirkung haben, als wenn das Schiff durch einen horizontal oder schräge von unten gerichteten Stoss getroffen würde, d. h. er wird das Schiff auf die Seite stossen. So empfieng der „*Pacific*“ am nördlichen Eingange zur Florida-Strasse verschiedene Stösse eines submarinen Erdbebens, aber erst der vierte oder fünfte Stoss war so heftig, dass er das Schiff ganz auf die Seite stiess (M. A. Br. 12, 1861). Wiederholt sich der Stoss mehrere Male, so wird die Folge die sein, dass das Schiff schwankt, stampft und rollt wie in einer Böe. Einzig steht die Nachricht da, dass bei dem soeben

Digitized by Google

erwähnten Erdbeben vom 9. Mai 1877 die Schiffe im Hafen von Caléta plötzlich am Stern um 45° emporgehoben seien. Dazu ist nöthig, dass ein gewisser Zeitunterschied zwischen dem Eintreffen des Stosses an dem einen und dem gegenüberliegenden Ende besteht. Bei der im Verhältniss zur Fortpflanzungsgeschwindigkeit verschwindend kleinen Ausdehnung des Schiffes in die Länge ist es erklärlich, wenn ein Fortschreiten nicht immer bemerkt worden ist. Dass eine Zeitdifferenz wirklich vorhanden ist, dass also ein Fortschreiten wahrnehmbar ist, konnte in mehreren Fällen constatirt werden, wo der Stoss in der Längsrichtung des Schiffes fortschritt. Verschiedentlich findet sich die Bemerkung, das Vorderschiff sei zuerst von der Bewegung ergriffen, die Erschütterung sei vom Bug zum Stern oder von hinten nach vorn unter dem Schiffe durchgegangen. Unter günstigen Umständen liess sich alsdann auch auf die Fortpflanzungsrichtung des Seebebens ein Schluss ziehen, der freilich nicht immer mit den Thatsachen übereinstimmt. Des Essarts vergleicht den Eindruck des Seebebens vom 10. Sept. 1869, das er auf dem französischen Expeditionsschiff „*La Néréide*“ in der Nähe von St. Paul's-Felsen erlebte, mit dem, welchen man empfindet, wenn das Schiff mit einem kleinern zusammenstösst und darüber hinwegfährt. (C. R. 1872, 1, S. 1126.)

Die Intensität ist aber nicht bloss, wie wir sahen, bei den verschiedenen Seebeben eine verschiedene; auch innerhalb der einzelnen seismischen Phase, und mag dieselbe noch so kurz sein, unterliegt sie gewissen Schwankungen, einer Zu- und Abnahme. Das Seebeben, welches Capt. Botte vom Schiff „*La Louise*“ bei den Azoren am 8. März 1846 erfuhr, versetzte das Fahrzeug in eine heftig zitternde Bewegung, die in der kurzen Zeit von ungefähr 3 Sec. zuerst an Stärke zunahm, dann allmählig wieder abnahm (M. A. D. 1847—48). Ebenso meldet Capt. v. d. Erve vom „*Albrecht Beyling*“: „Der Stoss, durch den Alles an Bord in eine zitternde und schüttelnde Bewegung gerieth, war am Anfang am stärksten und nahm allmählig an Intensität ab, bis zuletzt nur noch ein ganz leises Geräusch bemerkbar war“ (Med. K. N. M. J. 1867). Deutlicher ist diese Erscheinung aus den Berichten über das schon angeführte Seebeben vom 22. Dec. 1884 zwischen Madeira und den Azoren ersichtlich. Nach der Mittheilung des Capt. Albrand von der „*Emma Römer*“, der die erste Beobachtung um 2^h a. m. O. Z. machte, war die Erschütterung ähnlich derjenigen, welche das Auslaufen der Ankerkette auf tiefem Wasser bewirken

Digitized by Google

würde, obwohl das Rad in den Händen des Steuermannes hin und her stiess (J. N. 2210). Auf der „*Ventilia*“, $2^h\ 20^m$ a. m. O. Z. war die Erschütterung für die ersten 15 Sec. ziemlich stark und gieng nachher in eine leise zitternde Bewegung über, die noch über $1\frac{1}{2}$ Min. anhielt (A. H. 1885, S. 600). Von der „*Elisabeth Rickmers*“ liegt nur die kurze Notiz vor, dass $2^h\ 35^m$ a. m. O. Z. ein schweres Seebeben von 2—4 Min. Dauer durch das Schiff gieng (A. H. 1885, S. 600); dagegen hatte „*Alma*“ um $2^h\ 42^m$ a. m. O. Z. ein ziemlich heftiges Seebeben, das mit fast gleicher Stärke etwa 45 Sec. anhielt (A. H. 1885, S. 600). Die Erschütterung des „*Belfast*“ war von $2^h\ 50^m$ bis $2^h\ 51^m$ a. m. O. Z. am stärksten, nahm dann allmählig ab und endete $2^h\ 51^m\ 30^s$ mit einem ganz leisen Zittern (Nature, XXXII, 1885, S. 576). Ihr Maximum erreichte die Intensität um 3^h a. m. O. Z., wo „*Maroon*“ so geschüttelt wurde, dass es nach Aussage des wachhabenden Officiers unmöglich war, sich am Brückengeländer festzuhalten. Die aufgeführten Schiffe standen so ziemlich in der Fortpflanzungsrichtung des Seebebens, während die russ. Bark „*Vega*“ ihrer Entfernung von dieser Linie entsprechend nur verschiedene leichte Erschütterungen erhielt (A. H. 1885, S. 182).

Capt. Krause von der „*Anna Bertha*“ fühlte am 14. Nov. 1876 bei den Cap Verden eine starke Erschütterung, als ob das Schiff über harten Grund laufe; „dabei“, so wird bezeichnend hinzugefügt, „stiess es heftig“ (J. N. 782). Auf eine solche Unterscheidung in der Art der Bewegung, wurde oben schon aufmerksam gemacht. Nach den mechanischen Wirkungen, wie sie sich in den dem Schiffe und darauf befindlichen Objecten mitgetheilten Stössen äussern, und dem zitternden und scheuernden Gefühl glauben wir für submarine Erdbeben in derselben Weise, wie für terrestrische Erdbeben (wenn der Ausdruck gestattet ist), eine succussorische und undulatorische Bewegung unterscheiden zu können.

Des Essarts beschreibt die auf dem französischen Expeditionsschiff „*La Néréide*“ empfundene ziemlich starke Erschütterung als von unten nach oben gerichtet, die sich seitwärts fortpflanzte und allmählig schwächer wurde. Eine momentane ruckartige Bewegung wurde im Süd-Atlantic im Dec. 1860 beobachtet (Imray A. O. P.) und Capt. van Roemer fühlte am 26. Nov. 1852 im ostindischen Archipel einen verticalen Stoss mit wellenförmiger Bewegung, wie wenn das Schiff gestrandet wäre; das Verdeck schien unter den Füssen zu weichen (M. A. D. 1852—53). Während wir es aber hier nur mit einem verticalen Stoss zu thun haben, der

Digitized by Google

durch seitliche Ausbreitung in die undulatorische Bewegung übergeht, ist von Capt. Stege auf dem Schiff „*Pallas*“ im Hafen von Manila am 18. Juli 1880 geradezu eine wellenförmige Bewegung unter den Füssen verspürt worden (A. H. 1881, S. 261); und dieselbe Bewegung ist bei dem Erdbeben auf Chios an Bord der „*Loreley*“ von Capt. v. Wietersheimer im Hafen von Castro durch seismometrische Beobachtung constatirt. Dem ersten Stosse, der das Schiff in allen seinen Theilen erzittern liess, folgten in einer Stunde allein 27 schwächere, alle mit undulatorischer Bewegung. In der Nacht vom 19./20. April wurden an Bord der „*Loreley*“ von 11^h p. m. bis $1^h\ 15^m$ a. m. 42 undulatorische Stösse von dem Seismometer verzeichnet (A. H. 1881, S. 302).

Wir haben im Vorstehenden von einigen submarinen Erdbebenstössen Mittheilung gemacht, deren Intensität, sei es in verticaler oder horizontaler Richtung, eine sehr bedeutende war. Nachdem wir ihre Wirkung auf den festen Körper des Schiffes kennen gelernt haben, drängt sich von selbst die Frage auf, in welcher Weise zeigt sich der Einfluss eines succussorischen oder undulatorischen Seebebens auf das flüssige Element des Wassers? Wird es überhaupt in einer den Sinnen wahrnehmbaren Art afficirt, und wenn das der Fall ist, was für Erscheinungen machen sich entweder in der ganzen oceanischen Wassermasse oder nur an der Meeresoberfläche bemerkbar? Das sind die Fragen, von deren Beantwortung die Beurtheilung des in Rede stehenden Phänomens wesentlich mit abhängt.

Waren die Angaben, aus denen wir unsere Ansicht über die Art der Erschütterung entwickelt haben, in den meisten Fällen aus leicht erklärlichen Gründen in sehr allgemeinen Ausdrücken gehalten, so dürfen wir über Alles, was in oder auf dem Meere vorgeht, genauere und bestimmtere Beobachtungen erwarten, da der Seemann darauf angewiesen ist, dem Zustand des Meeres und seinen Veränderungen seine vollste Aufmerksamkeit zu widmen. Und in der That werden wir auch mit einer Reihe höchst auffallender Erscheinungen bekannt gemacht, die im ersten Augenblick unerklärbar und unvereinbar erscheinen mögen, gerade deshalb aber, abgesehen davon, dass sie noch völlig unbekannt sein dürften, hier einer eingehenderen Betrachtung unterzogen werden sollen.

Wenn nicht in allen Berichten eine auf die Vorgänge an der Meeresoberfläche bezügliche Bemerkung enthalten ist, so soll dieses

Digitized by Google

Schweigen gar nicht etwa dahin gedeutet werden, dass entweder keine besondere, die Aufmerksamkeit auf sich ziehende Veränderung wahrgenommen werde oder überhaupt keine derartige eintrat; es kann in vielen Fällen thatsächlich unmöglich gewesen sein, sei es wegen starken Wellenschlages oder ungünstiger Witterung, die alle Kräfte in Anspruch nahm, den Wirkungen eines Seebebens irgend welche Beachtung zu schenken. Uns steht trotzdem eine hinreichende Anzahl von zuverlässigen Beobachtungen zur Verfügung, die es ermöglicht, ein klares Bild von allen begleitenden Vorgängen zu geben.

Es ist jedenfalls eine der merkwürdigsten Thatsachen, die uns im Verlauf der Forschung entgegengetreten ist und die auch stets die Verwunderung der betreffenden Seeleute in höchstem Maasse erregt hat, dass in so vielen Fällen, wenn nicht gar in den meisten, der unterseeische Erdstoss vorübergeht, ohne auch nur den geringsten Einfluss auf die oceanische Wassermasse ausgeübt zu haben. Der Charakter des Seebebens mag wie immer beschaffen sein, es kann eine fortschreitende undulatorische Bewegung oder ein verticaler Stoss, eine momentane oder längere Zeit anhaltende Erschütterung sein, welche über weite Flächen hin oder nur auf beschränktem Gebiet bemerkt wurde, das Resultat bleibt stets dasselbe, selbst wenn der Meeresspiegel glatt wie auf einem Teiche ist und das Schiff bei völliger Windstille festliegt, — eine Änderung im Zustande des Meeres wird auch durch den intensivsten Stoss nicht hervorgerufen.

Lief zur Zeit der seismischen Erregung eine hohe See, so wird die Bemerkung, das Meer habe kein ungewöhnliches Aussehen angenommen oder es sei keine Zunahme des Seeganges nach dem Stosse wahrgenommen, nicht entscheidend sein; war indessen das Wasser so klar, dass man, wie Capt. Schulze von der „*Christine*“ meldet, deutlich den Kiel sehen konnte, so wäre es sehr eigenthümlich, sollte bei solchen Verhältnissen eine etwaige Trübung der Seefläche dem Beobachter entgangen sein.

Am 5. Febr. 1842 wurden im Atlantic drei Schiffe fast gleichzeitig in der Nähe des Aequators erschüttert; Capt. Rackham vom Schiff „*Ann Mary*“ glaubte im ersten Augenblick auf eine Bank aufgefahren zu sein oder in Folge eines Blitzschlages die Masten verloren zu haben. Das Schiff segelte jedoch seinen Curs, zitterte aber so heftig, dass es schien, es müsse in Stücke fallen, der Steuermann konnte sich am Rad nicht einmal festhalten. Trotz

Digitized by Google

dieser gewiss aussergewöhnlich heftigen Erschütterung blieb die See ganz still (M. A. D. 1847—48).

Man könnte dagegen einwenden, dass eine undulatorische Bewegung überhaupt nicht im Stande sei, eine an der Meeresfläche sichtbare Erregung zu bedingen, nur ein senkrecht von unten nach oben gerichteter Stoss vermöge eine Wirkung auszuüben. Sehen wir uns darauf hin einige Beispiele von verticalen unterseeischen Erdstössen an.

Es möge zunächst an zwei schon bekannte Fälle erinnert werden, an den des „*Willy*", Capt. Henne, in der Ombay-Strasse und des Schiffes „*Eucharis et Paul*" im Indischen Ocean; Capt. Henne wurde wie erwähnt an Deck niedergeschleudert, und dem Mann am Ruder flog das Rad fast aus der Hand, — das Wasser blieb ganz ruhig, und Capt. Dugaste fand die Wasserfläche fast eben, obgleich durch die Vehemenz des Stosses Gegenstände umgeworfen waren. Der Schoner „*Rosario*" empfand im Nord-Pacific am 23. Juni 1885 zwei starke Stösse eines submarinen Erdbebens, die eine heftige Erschütterung des Schiffes verursachten; als merkwürdige Thatsache wird bemerkt, dass die See auffallend glatt war (Nature, XXXII, 1885. S. 495). Das französische Schiff „*Comte Roger*" wurde bei den Cap Verden in seiner Fahrt gehemmt und schien einzusinken; obgleich das Wetter vollkommen klar war, so dass man alles rund herum unterscheiden konnte, war nichts zu entdecken, was die Erscheinung verursacht haben könnte. Man befand sich 150 Sm. von der Küste Afrika's, das Wasser sah weisslich aus und war wenig tief (B. A. Br. 22, 1, 1855). Also nicht einmal in flachem Wasser hat ein Verticalstoss eine Wellenerhebung des Meeres zur Folge. Dasselbe beweist das Seebeben, über welches Capt. Duhme von der „*Minerva*" berichtet. Am 26. Oct. 1883 erfolgten am Eingange aus dem Gelben Meer in die Korea-Bai, bei Mallung und Windstille, im Zeitraum von 3—4 Sec. rasch drei Stösse aufeinander. Die Oberfläche des Meeres war ganz schlicht und es ist nicht beobachtet worden, dass dieselbe durch die Erschütterung beunruhigt wurde (A. H. 1884, S. 498). Es verdient dieser Punkt deswegen besonders betont zu werden, weil man bisher glaubte, die Wellenbewegungen des Meeres vor Ankunft der grossen Fluthwelle dadurch erklären zu können, dass man annahm, der Erdstoss müsse, sobald er in seichteres Wasser komme, eine direct emporhebende Wirkung ausüben, eine Annahme, die durch die angeführte Thatsache zur Genüge widerlegt wird. Ja,

Digitized by Google

nach einem Berichte aus der allerjüngsten Zeit, dem wir also in Bezug auf richtige Beobachtung volles Vertrauen schenken können, hat der Erdstoss, welcher am 31. Aug. 1886 das östliche Nord-Amerika erschütterte, auf dem Meere eine der gewöhnlichen Annahme gerade entgegengesetzte Wirkung gehabt, nicht, wie man erwarten möchte, eine Störung des Gleichgewichtszustandes der Wassermasse trat ein, sondern eine Beruhigung des gerade herrschenden Seeganges. Capt. Vogel vom Dampfer „*City of Palatka*“ verspürte nämlich um $9^h\ 45^m$ p. m. $1\frac{1}{2}$ miles N. von Martins Leuchtschiff, 12 Sm. vom Hafen von Port Royal, S. von Charleston, auf $8\frac{1}{2}$ Fuss Wasser ein schreckliches, rasselndes Gefühl, das $1\frac{1}{2}$ Min. dauerte. Nach der Abfahrt von Charleston Bar lief eine heftige See aus SE.; als das rollende Gefühl eintrat, hörte die Wellenbewegung auf, und es herrschte während des Rollens vollkommene Ruhe, dann erst setzte die gewöhnliche See aus SE. wieder ein. Dabei war die Erschütterung des Schiffes so stark, dass das Gebälk heftig zitterte (Nature, XXXIV, 1886—87, S. 460, 529).

Auch eine längere Dauer der einzelnen Stösse oder selbst die Ausdehnung einer seismischen Phase über Stunden ruft durchaus noch keine Änderung hervor. Capt. Spray vom „*Maroon*“ berichtet, dass nichts Ungewöhnliches zu bemerken gewesen, das Wasser völlig ruhig geblieben sei, obwohl der Stoss 1 Min. anhielt. Das dänische Schiff „*Tjalfe*“ empfieng zweimal hintereinander für die Dauer von 1—2 Min. ausserordentlich starke Stösse, „*Regina Coeli*“ im äquatorialen Atlantic 2 Min. lang Stösse, dass die Wände zitterten und das Ruder in den Händen des Steuermanns so sehr erbebte, dass er es nicht festhalten konnte (M. A. Br. 8, 1859), „*Carl*“ eine 5 Min. anhaltende, so heftige Erschütterung, dass aus der Ladung die vollen Fässer der obersten Lage unter Verdeck geschleudert wurden und die Lampenkuppeln zu Boden fielen (A. H. 1885, S. 600), — bei allen blieb die See ruhig; allerdings wehte stets eine leichte Brise, die einen geringen Seegang veranlasst haben wird, indessen war die Intensität eine so gewaltige, dass eine Veränderung im Zustande der Meeresfläche hätte bemerkt werden müssen, wäre überhaupt eine solche eingetreten.

„*La Claudine*“ fühlte am 27. Sept. 1838 bei den Azoren gegen $3^h\ 20^m$ a. m. den ersten Stoss eines submarinen Erdbebens, das im ganzen $\frac{3}{4}$ St. dauerte und das Schiff auf eine ganz schreckliche Art erschütterte; „eine besondere Bewegung,“ heisst es, „scheint

Digitized by Google

das Erdbeben, da das Meer fast ruhig war, nicht hervorgerufen zu haben, wenigstens bemerkte man trotz des klaren Wetters keine solche“ (M. A. D. 1847—48).

Jeden Zweifel daran, dass auch der stärkste Verticalstoss nicht nothwendig eine Welle, nach J. Scott Russell's Theorie eine sogenannte „forcirte positive Welle“, bedingt, werden die beiden nachfolgenden Berichte gewiss beseitigen. „Am 17. April 1858 empfieng der „*Pacific*“ auf der Fahrt von New Orleans nach New York, in 27° 28′ N. Br. und 79° 28′ W. Lg., bei ganz ruhiger See verschiedene Stösse eines submarinen Erdbebens; der vierte oder fünfte Stoss war so heftig, dass er das Schiff ganz auf die Seite stiess, als wenn es den Boden berührt hätte. Die Fensterscheiben klirrten und es schien als wenn ein grosses leeres Fass über Deck rolle. Die Erschütterung dauerte 12—15 Min., es trat aber keine Welle nach derselben ein, die See blieb im Gegentheil vollkommen glatt“ (San Francisco Prices Current 1858 Juni 26). Gerade diese Thatsache wird in einem andern den vorstehenden in mancher Hinsicht ergänzenden Berichte als auffallend hervorgehoben und ausdrücklich betont, dass das Meer während der ganzen Dauer des Phänomens vollkommen ruhig geblieben sei (M. A. Br. 12, 1861).

Am 11. März 1855 lagen mehrere Schiffe im Stillengürtel des Atlantic bei Todtenstille ohne jegliche Bewegung; eine Fläche zu beiden Seiten des Aequators zwischen 3° 42′ N. Br. und fast 1° S. Br. wurde erschüttert. Diese Verhältnisse müssen als besonders günstig angesehen werden zur Beobachtung des Verhaltens der Seefläche an weit von einander entfernten Punkten; aber während das eine Schiff nur constatirt, dass im Wasser keine Veränderung sichtbar war, heisst es in der Mittheilung eines andern, dass auch nicht die geringste Kräuselung an der Oberfläche des Meeres bemerkt worden sei. In demselben Gebiete befand sich im April 1831 „*Aquila*“, Capt. Taylor, bei stillem Wind und klarem Wetter, ohne Wellenschlag. Das Ruder wurde so heftig hin- und hergestossen, dass der Steuermann kaum das Rad festhalten konnte. Dabei wurde nicht die geringste Veränderung in der Farbe des Wassers, nicht das leiseste Riffeln bemerkt.

Gegenüber der nun wohl feststehenden Thatsache, dass bei den meisten Seebeben die Wassermasse der Oceane sich vollkommen ruhig verhält, muss es um so mehr befremden, wenn wir nun auch gerade das Gegentheil eintreten sehen, nämlich ein Erheben des Meeres zu mächtigen Wellenbergen nach allen Richtungen hin.

Digitized by Google

Freilich können wir uns nur auf einige wenige Beispiele stützen, die aber gerade deswegen eine höhere Bedeutung erlangen. Die Schilderung, welche Capt. Christie von der Bark „*Euphrosine*“ über das im November 1868 im Süd-Atlantic verspürte Seebeben giebt, lässt das Phänomen leider nicht deutlich genug hervortreten. Anfang October überstand die Bark im Indischen Ocean ein Unwetter mit Donner und Blitz bei immens hoher See. Dieses Wetter hielt mehrere Tage an, milderte sich dann und legte sich ganz. Um Mitternacht am 8./9. Nov., während der Himmel sich mit dichten Wolken überzog, liess ein Geräusch wie entfernter Kanonendonner sich vernehmen. Die See war sehr bewegt, das Schiff zitterte vom Stern zum Bug wie in Convulsion, das Geräusch nahm zu, grosse Fische wurden in die Höhe geschleudert — alles Erscheinungen, wie sie uns als charakteristisch für ein Seebeben bekannt sind. Wenn nun aber zum Schluss hinzugefügt wird, die See sei erst bei Tagesanbruch beruhigt geworden, so glauben wir darin einen Hinweis darauf erkennen zu dürfen, dass die Erregung der See zugleich mit der Erschütterung eintrat, zumal von einem Unwetter, das die bewegte See hervorgerufen haben könnte, keine Rede ist. Im Übrigen spricht der Capitän selbst die Vermuthung aus, dass eine grosse submarine Eruption stattgefunden habe (Mitth. der geogr. Ges. Wien. N. F. II. 1869, S. 161).

Ganz unzweideutig lautet aber der Bericht des Capt. Schafter vom „*Komet*“, nach welchem am 30. Jan. 1866 8^h p. m. in einiger Entfernung von den Azoren ein leichter submariner Erdbebenstoss gefühlt wurde. $10^h\ 15^m$ a. m. wurde das Schiff von einem äusserst heftigen Erdbeben getroffen, das drei Min. dauerte. Das Meer erhob sich nach allen Richtungen und man vernahm ein dumpfes Geräusch, welches, obwohl unterirdisch, die ganze Atmosphäre erschütterte. Das Schiff zitterte, wie wenn es einen grossen, im Wasser schwimmenden Gegenstand berührt hätte. Vor dem Phänomen war der Himmel klar, die Luft still und das Meer ruhig, ebenso nach dem Erdbeben. Besonders die letzte Bemerkung lässt keinen Zweifel daran aufkommen, dass die Wellenerregung in engster Verbindung mit den Seebeben steht, ob auch in einem causalen Zusammenhang, wollen wir vorläufig dahingestellt sein lassen. Den Übergang, wenn man so sagen darf, von dem einen Zustand in den andern, von einem ruhigen Verhalten der See in den erregten Zustand derselben erkennen wir aus dem Bericht über das an Bord des „*Hamilton*“ am 4. Juni 1875 in der westindischen

Digitized by Google

Tiefe beobachtete Seebeben. Als nämlich die Erschütterung zuerst begann, war die See ganz glatt, in dem Maasse aber, wie die Stösse an Heftigkeit zunahmen, wurde das Wasser entsprechend aufgeregt. Plötzlich empfieng das Schiff einen Stoss, als wenn es auf Grund gerathen wäre. Es gieng zur Zeit nur wenig, wenn überhaupt, Wind, und dennoch wurde das Schiff herumgestossen wie mitten in einer Böe. Die Dauer des Phänomens wurde auf ganze 10 Min. geschätzt (A. J. Sc. III. Ser. XII, 1876, S. 27).

Der in den drei letzten Berichten geschilderte Vorgang trat in Verbindung mit submarinen Erdbebenstössen auf; eine solche findet aber nicht immer statt, wie wir aus der Beschreibung einer ganz ausserordentlichen Erregung der Gewässer des äquatorialen Atlantic entnehmen müssen, in welcher von einer Erschütterung des Schiffes keine Rede ist. Am 13. October 1852 hörte man nämlich auf dem Schiffe „*The Maries*“ ein Geräusch, das aus dem Ocean zu kommen schien; dasselbe nahm allmählig an Heftigkeit zu, bis es zuletzt betäubend wurde. Die Wellen erhoben sich bergehoch, der Wind blies aus allen Himmelsrichtungen, so dass es unmöglich war, das Schiff zu regieren. Es schwankte und arbeitete furchtbar. Die Erscheinung dauerte 15 Min., dann begann die Meeresfläche sich nach und nach zu beruhigen (Findlay, S. A., S. 211). Es liegt kein Grund vor, die Schilderung, wie es geschehen ist, für übertrieben zu halten, weil am Schluss derselben bemerkt wird, dass einige Schiffe, welche zu Anfang der Katastrophe in Sicht gewesen, verschwunden seien, und weil aus dem Vorbeitreiben von Schiffstrümmern gefolgert wird, dass einige der erwähnten Fahrzeuge wahrscheinlich untergegangen seien; nicht minder ist die Annahme einer plötzlichen und gewaltigen atmosphärischen Störung als der wirkenden Ursache der Wellenerregung ausgeschlossen. Gegen eine solche Annahme spricht schon die kurze Dauer des ganzen Phänomens, noch mehr aber der Umstand, dass dasselbe, wie aus den Worten der Schilderung hervorzugehen scheint, nur auf einen kleinen Raum beschränkt war. Entscheidend für die Beurtheilung der Erscheinung ist indessen die Erwähnung des Geräusches, welches aus dem Ocean zu kommen schien und demnach nur von submarinen Störungsvorgängen herrühren kann, diese letzteren müssen zugleich auch die Meereswellen bedingt haben. Zur Stütze dieser unserer Behauptung wollen wir hier noch die Beschreibung einer ganz analogen Erscheinung anführen, welche in „China Review“ XIV, 1885, S. 147 enthalten ist. In einem

Digitized by Google

Aufsatz über die seismische und vulkanische Thätigkeit des östlichen Asiens wird bemerkt, dass unabhängig von den Erderschütterungen der Insel Formosa auch das dem nördlichen Theile der Insel benachbarte Meer submarinen Erregungen unterworfen zu sein scheine. Bisweilen hört man nämlich dort ein ganz auffallendes, zischendes Geräusch vom Meere her, bald laut, bald leise, oft ganz nahe, dann wieder aus weiter Ferne kommend, häufig ist es Stunden lang ohne Unterbrechung vernehmbar, um dann plötzlich aufzuhören. In sehr auffallenden Fällen hält der Lärm für die Dauer eines halben Monats Tag und Nacht an, Perioden von kürzerer Dauer erstrecken sich über eine Zeit von drei bis vier Tagen. Wenn das Geräusch besonders laut ist, so dass man von einem Brüllen des Oceans sprechen könnte, so wirft das Meer Blasen auf, jedenfalls ist die See stets während des Getöses durch fürchterliche Wellen aufgeregt. In der Bevölkerung von Formosa, welche Zeuge dieser grossartigen Erscheinung ist, findet sich vielfach die Ansicht verbreitet, dass der häufig so erregte Zustand des Meeres mit atmosphärischen Vorgängen in Zusammenhang stehe; indessen konnte durch Beobachtungen festgestellt werden, dass das geschilderte Phänomen, unabhängig von den atmosphärischen Verhältnissen, bei jeder Witterung auftrete. Bedenken wir ferner, dass der Norden von Formosa ein seismisch stark erregtes Gebiet darstellt und dass in der Nähe von Kelung, im Centrum der vulkanischen Thätigkeit, eine Solfatara in unaufhörlicher Wallung begriffen ist, welche bei Erdbeben gewaltige Massen von Schwefelwasserstoffgas aushaucht, so bleibt zur Erklärung der fraglichen Vorgänge gar keine andere Annahme weiter übrig als die, dass sowohl das aus dem Ocean emporsteigende Geräusch, wie die Aufthürmung von mächtigen Wellen die Folge einer submarinen Thätigkeit ist, über deren Natur sich freilich noch kein Aufschluss geben lässt.

In gleicher Weise wie „*The Maries*“ war einige Jahre später das Schiff „*Watch of the Wave*“ Zeuge einer ebenso grossartigen, convulsiven Meereserschütterung, welche an fast derselben Stelle des Atlantic überstanden wurde. Bedenken gegen die Authenticität des Berichts, der im „Bombay Standard“ 1859 erschienen ist, erregt nur der Umstand, dass die Schilderung in der Hauptsache fast wörtlich mit derjenigen übereinstimmt, welche von Findlay, S. A., S. 211 über den Fall des Schiffes „*The Maries*“ veröffentlicht wurde. Eine Vergleichung des Wortlautes der beiden Berichte im ursprünglichen Texte wird diese Übereinstimmung darthun:

Digitized by Google

An extraordinary marine convulsion was experienced by the „*Maries*“, on her passage to Caldera. On the morning of the 13th of October, the ship being 12 miles from the equator, in long. 19° W., a rumbling noise appeared to issue from the ocean, which gradually increased in sound, till the uproar became deafening; the sea rose in mountainous waves, the wind blowing from all quarters, the control over the ship was lost, and she pitched and rose frightfully, all on board expecting each moment to be their last. This continued 15m; the water then gradually subsided, when several vessels in sight at the commencement of the convulsion were found to have disappeared. Shortly after a quantity of wreck, a part of a screw steamer, was passed, so that some vessels and lives were lost.

(Findlay, South Atl. O. 211.
A. Perrey, M. A. D. 1852—53.)

Extraordinary Marine Convulsion. — A most extraordinary phenomenon is described as having been witnessed by the officers and crew of the „*Watch of the Wave*“, on the 13th of March last, the ship being then 2 miles from the equator, in longitude 19 deg. west. Its first appearence was that of a rumbling noise, which apparently came from the depths of the ocean, and gradually increased in sound, till the uproar became deafning. The sea rose in mountainous waves, the wind blowing from all quarters. The control over the ship was lost, and she pitched and rolled frightfully; all on boards expecting each moment to be their last. This continued for about 15 minutes, when the waters gradually subsided, and all visible round the horizon was calm, save the long rolling undulations of the Atlantic, so peculiar on the line.

(Bombay Standard 1859.)

Was uns trotz der Übereinstimmung einzelner Stellen in den beiden Berichten bestimmen muss, den letzteren nicht etwa für eine Täuschung, sondern für echt zu halten, ist ausser dem ganz abweichenden Schluss der Umstand, dass die Darstellung auf das Zeugniss der Officiere und Mannschaft des genannten Schiffes hin gegeben wird.

Indessen ist es gar nicht einmal nöthig, auf den zuletzt erwähnten Bericht ein solches Gewicht zu legen, das Factum selber steht fest: zwar gleichzeitig mit den unterseeischen Erdstössen, aber dennoch unabhängig von denselben kann sich das Meer zu mehr oder minder hohen Wellenbergen erheben, eine Thatsache, welche zur Erklärung der sog. Erdbebenfluthwellen bisher immer nur hypo-

Digitized by Google

thetisch vorausgesetzt wurde, hier aber zum ersten Male durch Beobachtung als wirklich existirend nachgewiesen ist.

Seit den Untersuchungen der Gebrüder Weber ist bekannt, wie sich eine Welle, die an der Oberfläche einer Flüssigkeit durch Aufsaugen einer Flüssigkeitssäule oder einen Stoss gegen die Wasserfläche erregt wird, in concentrischen Ringwellen fortpflanzt. Breitet sich eine Flüssigkeitswelle über einen immer grösserer Raum aus, so nimmt dadurch die Höhe der Welle ab. Nehmen wir dazu noch die bisweilen ungeheure Länge der Welle, so ist es verständlich, dass eine solche auf offenem Ocean weit von der Erregungsstelle nicht bemerkt werden kann. Es ist überflüssig hierfür Beispiele anzuführen, es mag genügen, auf die in der Einleitung erwähnten Arbeiten über die Erdbeben an der Westküste von Südamerika hinzuweisen. Der französische Gelehrte Virlet d'Aoust, dessen oben Erwähnung geschah, erfuhr bei seiner Ankunft in Smyrna, dass dort das Erdbeben von einer mächtigen Fluthwelle begleitet gewesen sei, die dem Schiffe vorausgeeilt war. Dass aber in grösserer Nähe an der Ursprungsstelle dergleichen Wellen beobachtet werden können, dafür haben wir die Beweise in Form von drei klaren Berichten in Händen. In dem oben erwähnten theilweise schon mitgetheilten Berichte des Capt. v. d. Erve vom „*Albrecht Beyling*“ über das Seebeben vom 10. Nov. 1853 im Indischen Ocean, das alles an Bord in eine zitternde und schüttelnde Bewegung versetzte, heisst es: „Von unserer ursprünglichen Ansicht, dass das Schiff auf ein Korallenriff gelaufen sei, kamen wir bald zurück, da wir gewahr wurden, dass die Bewegung von einer hoch rollenden See allmählig und ohne Stossen begleitet war, während das Wasser keine andere Farbe annahm.“ Die meteorologischen Verhältnisse und der Zustand des Wetters sind leider nicht angegeben, wie es von Capt. Nichelson von „*Franz*“ geschehen ist, der in der westindischen Tiefe am 9. Febr. 1880 bei schönem Wetter und leichtem E. (4) eine heftige Erschütterung des Schiffes bemerkte, die von einer einzelnen hohen See aus NNE. begleitet war (J. N. 1186; A. H. 1880, S. 336). Der Zusatz, dass im übrigen die Wasseroberfläche unverändert ruhig geblieben sei, schliesst jeden Zweifel daran, dass diese Welle mit dem Seebeben in Verbindung stehe, von vornherein aus. Am 17. März 1860 hörte man gegen 9^h a. m. in Acapulco, Mexico, eine heftige Explosion; dieselbe rührte von einer Eruption eines der Vulkane her, welche in der Richtung von Mexico liegen. Zu fast gleicher Zeit sah Capt.

Digitized by Google

Watkins vom „*Golden Age*“, während das Meer rund herum vollkommen ruhig war, drei enorme Wogen auf sich zukommen. Kaum hatten dieselben das Fahrzeug erreicht, welches sie bis zur Hälfte einhüllten, als sie auch schon wieder verschwunden waren, indem sie das Meer hinter sich ebenso ruhig liessen, wie es vorher gewesen war (M. A. Br. 14, 1862).

Damit ist aber die Reihe der merkwürdigen Erscheinungen, die sich am Meere offenbaren, noch nicht beendet. Behielt bei den meisten Seebeben das Meer vollkommen seinen normalen Zustand, während es bei einigen anderen sich zu mächtigen Wellenbergen aufthürmte, die bei ihrem Fortschreiten über den Ocean als hohe Woge sich kenntlich machten, so hat es bisweilen den Anschein, als wenn das Wasser längsseits des Schiffes oder unter dem Boden koche und siede. So befand sich bei dem Erdbeben vom 16. April 1878, das die asiatische und europäische Seite des Bosporus heimsuchte, das Marmara-Meer in einer solchen eigenthümlichen Aufregung. Die dort stationirte englische Panzerflotte empfand ein Seebeben. Ein Officier derselben schildert es folgendermaassen: „Plötzlich hörte man einen seltsamen Ton und das Schiff begann zu zittern, als wenn es auf eine Sandbank gelaufen wäre. Einige Personen wurden umgeworfen, als sie die Treppe hinaufeilten. Das Vibriren dauerte einige Secunden, das Wasser schien unter dem Schiff aufzubrodeln, seine Oberfläche blieb aber ruhig“ (C. W. C. Fuchs, Vulkan. Erscheinungen, in Tschermak, Min. M. 1879). In anderen Fällen ist geradezu ein Aufwallen der See rund um das Schiff herum unter heftigen Zuckungen, eine Erregung des Wassers, wie wenn dasselbe durch Convulsion erschüttert wäre, wahrgenommen worden. Die beste Beobachtung über diesen sonderbaren Zustand ist bei dem Erdbeben vom 24. Aug. 1869, das die Westküste von Südamerika auf weite Erstreckung hin heimsuchte, an Bord des Dampfers „*Payta*“ unter 19° 17′ S. Br. und 70° 21′ W. Lg. nur drei Sm. vom Lande und 49 Sm. S. von Arica, auf 75 Faden Tiefe gemacht worden. Der erste Stoss von 50 Sec. Dauer traf $1^h\ 25^m$ p. m. ein; bis gegen $3^h\ 40^m$, zu welcher Zeit der letzte stattfand, fühlte man noch gegen 20 Stösse; es wird aber behauptet, dass seit dem ersten Stoss die Erde während 7—8 Min. nicht aufhörte zu erzittern, abgesehen von Ruhepausen von nur wenigen Secunden. Während der Erschütterung hatte man Mühe sich aufrecht zu halten, Personen fielen hintenüber aufs Verdeck, Gegenstände von beträchtlichem Gewicht, die auf Deck standen, wurden

Digitized by Google

mehrere Zoll hoch emporgeschleudert. Das Meer schien rings um das Schiff zu kochen; soweit man sehen konnte, erhoben sich die aufwallenden Wogen um 1½—2 Fuss mit einem Geräusch, das dem glich, welches Platzregen auf dem Meere hervorruft. Ein Mitreisender des „*Payta*“ schreibt: „Gegen 1^{h} 20^{m} p. m. fieng das Schiff an so stark zu zittern, dass es unmöglich war sich aufrecht zu halten. Das Meer erschien rund herum in Wallung und erhob sich in einer Art von Wasserstrahlen von 8—10 Zoll Höhe“ (M. A. Br. 22, 1872).

Bei dem Erdbeben vom 8. und 9. Jan. 1865 in Callao befand sich T.-J. Pope an Bord des V. St. S. „*Lancaster*“ im Hafen von Callao; derselbe berichtet, dass die Meeresfläche der Bai an der Küste und so weit der Blick reichte in einem eigenartigen Zustand von Erregung und Gährung sich befand, indem das Wasser in Strahlen von 12 bis 15 Zoll Höhe emporgeschleudert wurde, so dass es den Anblick kochenden Wassers bot (M. A. Br. 19, 1867, S. 37. 52). Andere Berichte sind in allgemeineren Ausdrücken gehalten, so die, welche von J. Winchester, Capitän der englischen Fregatte „*Caribbean*“ und von D. Cobb, Capitän der englischen Fregatte „*John Banks*“ über das schreckliche Erdbeben vom 3. Juni 1863 in Manila erstattet wurden. Die Schiffe wurden äusserst stark erschüttert und zitterten, wie wenn sie den Grund berührt hätten. Das Wasser wallte rund um die Schiffe unter heftigen Zuckungen (M. A. Br. 17, 1865, S. 137). Die Officiere des Kriegsschiffes „*Amazone*“, welches während der seismischen Periode vom 21. April bis 2. Mai 1860 auf der Höhe der Insel San Lorenzo lag, versicherten, sie hätten das Wasser in einer gewissen Entfernung von der Küste aufwallen sehen (M. A. Br. 17, 1865, S. 26).

Aus der Art, wie die Seebeben auf Personen und Gegenstände wirkten, wissen wir, dass es verticale Stösse waren; es liegt daher nahe, das Aufwallen des Meeres oder die eigenthümlichen kleinen Wasserstrahlen auf die gleiche Ursache zurückzuführen, wofür wir im zweiten Abschnitt den experimentellen Beweis erbringen werden. Die Entstehung der Fluthwelle dagegen, die bei allen den angezogenen Erdbeben eintrat und bei dem amerikanischen vom Jahre 1869 zu Iquique, Arica und Pisagua nach der vorhergehenden Senkung des Meeresspiegels um 16 Fuss ein Steigen des Meeres um 6 Fuss über sein gewöhnliches Niveau veranlasste, darf dem Aufwallen des Wassers auf keinen Fall zugeschrieben werden. Auffallend ist wieder, dass der Dampfer „*Payta*“ trotz der Nähe

Digitized by Google

am Lande von der Fluthwelle nicht das geringste merkte, obgleich sie fast ebenso verderblich gewesen sein soll wie die von 1868, während doch der Dampfer „*John Elder*“ am 9. Mai 1877 in einer Entfernung von 23 Sm. von der Küste von der auffluthenden See auf einen steilen Wellenberg gehoben wurde; „ein schäumender Abgrund sog die Gewässer an den Flanken auf, während die Schraube, mit unheimlichem Geräusch in der Luft sich drehend zischte, dann bog sich das Schiff vorn über und stürzte mit tosendem Geklatsch in die Tiefe“ (C. W. C. Fuchs, Vulkanische Erscheinungen, in Tschermak, Min. M. 1878, S. 120). Besonders zu beachten ist noch die geringe Verbreitung der Fluthwelle, die, wie auch durch andere Beispiele bestätigt wird, oft auf ganz local beschränktem Gebiete auftritt, während in geringer Entfernung davon keine Spur von einer Welle zu sehen ist. Das Erdbeben, welches am 7. Sept. 1882 den Isthmus von Panama durchsetzte und auch auf See sich bemerkbar machte, hatte weder zu Panama noch zu Colon irgend welche Wellenbewegung zur Folge, was besonders betont wird, während in Miguel la Borda, 35 Sm. W. von Colon, die Fluth zu einer ungewöhnlichen Höhe stieg.

Noch verwickeltere Verhältnisse bietet das Erdbeben vom 21. Oct. 1868, welches ganz Westcalifornien heimsuchte und von einer grösseren Anzahl von Schiffen theils im Hafen von San Francisco oder in der Einfahrt dazu, theils in der Nähe der Küste verspürt wurde. Man möchte sagen, alle charakteristischen Eigenthümlichkeiten eines Seebebens, die wir bisher kennen gelernt haben, treten hierbei vereint auf, machen aber gerade dadurch ein Verständniss derselben um so schwieriger. Alle Schiffsberichte sprechen von einem Stoss, der aber auf See und in der Hafeneinfahrt sich stärker geltend gemacht zu haben scheint als im Hafen selber; eine Bark glaubte am Weitersegeln behindert zu sein, auf anderen wurden verschiedene Haufen Kisten nach westlicher Richtung umgeworfen. Zwei Bootsleute fühlten, als sie zwischen Fort Point und Mile Rock hafeneinwärts ruderten, ihr Boot erschüttert und heftig herum gewirbelt, zugleich wurden sie von drei hohen Wellen aus NW. erfasst, welche aus dem ruhigen Wasser aufstiegen und sich an der Küste brachen, obgleich zur Zeit kein Wind wehte. Die Gewässer in der Bai wurden nicht merklich erregt, die Fluthmesser an den Gouvernements-Inseln zeigten indessen ein ungewöhnliches Steigen der Fluth an. Vom „Cliff“ bei San Francisco wird berichtet, dass in Folge des Erdbebens eine aussergewöhnliche

Digitized by Google

Fluth zu beobachten gewesen sei, indem nach dem Stosse eine grössere Fluthwelle 15—20 Fuss über die gewöhnliche Marke stieg und sich landeinwärts warf. Sonst zeigten sich keine besonderen Erscheinungen (Mittheil. der geogr. Ges. in Wien. 1869, S. 228). Die Thatsachen sind um so merkwürdiger, als wir es nicht mit einem eigentlichen Seebeben zu thun haben, sondern mit einem Erdbeben, das sich quer zur NS.-Fortpflanzungsrichtung östlich bis zum Gebirgsrücken der Sierra Nevada erstreckte und westlich sich bis zu den Farallonen, 24 Sm. von der Küste, verfolgen lässt. Unerklärlich könnte endlich der Umstand erscheinen, dass die mächtige Fluthwelle, die das vernichtende Erdbeben von den kleinen Antillen am 18. Nov. 1867 begleitete, auf St. Thomas und Water Island zwar in ihrer ganzen bekannten Eigenthümlichkeit eintraf, auch in der Bai von Frederickstadt, St. Cruz, das amerikanische Kriegsschiff „*Monongahela*“ auf ein Korallenriff warf, dagegen von dem Schiff „*La Rigolette*“ in Sicht der Insel Vieques, welches einen schweren Stoss empfand, nicht beobachtet wurde, wenn man nicht bedächte, dass die Tiefen in dem Becken zwischen den genannten drei Inseln ganz ausserordentliche und der Absturz der Küsten gerade bei Vieques ein sehr jäher ist. Eine ungewöhnliche Erregung des Meeres, welche bei stillem Wetter auf der Höhe der Azoren die Mannschaft des „*Pinnau*“ zu einer Zeit, welche $2^h\ 45^m$ der Antillen entspricht, bemerkt haben will, steht wohl in keinem Zusammenhang mit der eben besprochenen Fluthwelle (M. A. Br. 21. 1879).

Zu denjenigen Pflichten, die dem Seefahrer im Interesse der Sicherheit der Schiffahrt obliegen und die er, besonders in höheren Breiten, auch stets zu bestimmten Zeiten ausübt, gehören Temperaturmessungen des Wassers und Beobachtung der Farbe desselben, welche beide ihn in Stand setzen einer etwa herannahenden Gefahr rechtzeitig vorzubeugen. Erstere sind auch mehrfach aus Veranlassung eines Seebebens angestellt worden; geschah es indessen unmittelbar nach dem Ereigniss, so hat die etwaige Bemerkung, das Wasser, welches man in einem Eimer schöpfte, habe gezeigt, dass die Temperatur sich nicht geändert, keinen Werth. Anders liegt die Sache, wenn entweder während einer längeren seismischen Phase, oder am Schluss derselben Temperaturbeobachtungen vorgenommen worden sind, wie vom Capt. Gilkison von der „*Alma*“ am 11. März 1855, $6^h\ 30^m$ p. m.; auf dem Schiff „*Nassau*“ an demselben Tage $6^h\ 58^m$ p. m., von ersterem wieder am 12. März $12^h\ 30^m$

Digitized by Google

a. m.: die Temperatur des Wassers zeigte aber keinen bemerkenswerthen Unterschied. Wäre mit dem Seebeben irgend ein eruptiver Act verbunden gewesen, so hätte derselbe seinen temperaturerhöhenden Einfluss auf die Wassermasse geltend machen können, wie ein solcher in dem folgenden Falle unumgänglich angenommen werden muss.

Am 17. Juli 1852 fühlte Capt. Short im äquatorialen Atlantic plötzlich ein Erzittern im Schiff. Der wachhabende Mate rief laut, das Schiff sei auf einen Felsen gerathen. Obwohl der Wind frisch war, wollte das Schiff dem Steuer nicht gehorchen. Der Capitän sah über Bord und bemerkte, wie das Meer ringsum wie siedendes Wasser kochte und in einer geringen Entfernung vom Schiff der Dampf wie aus einem Rauchfang aufstieg. Die ganze Mannschaft war Zeuge dieser ungewöhnlichen Erscheinung. Man warf das Loth; mit 110 Faden Leine war aber noch kein Boden zu erreichen. Als man es einholte, waren Loth und Lothleine ganz heiss (N. Mag. 1853, S. 281). Wenn auch keine directe Temperaturmessung vorliegt, so lässt die ganze Schilderung und besonders der zuletzt erwähnte Umstand keinen Zweifel daran aufkommen, dass die ganze Erscheinung einer grossartigen, mit einem Seebeben verbundenen submarinen Eruption zuzuschreiben ist, die es vermochte die gesammte oceanische, an der genannten Stelle so ausserordentlich tiefe Wassermasse bis zu einem hohen Temperaturgrade zu durchwärmen; es ist eine der wenigen submarinen Eruptionen, die, wenigstens in ihren Wirkungen, in der eigentlichen Tiefsee, fern von jeglicher vulkanischen Insel und den Festländern beobachtet worden ist. Vielleicht könnte man auch das Phänomen, welches Capt. Cook von der „*Estremadura*“ auf der Fahrt nach Fayal am 25. Nov. 1857, 7^h p. m., auf 39^0 57′ N. Br. und 25^0 50′ W. Lg. beobachtete, auf die gleiche Ursache zurückführen; derselbe sah nämlich seitwärts vom Schiff etwas, was er für eine Art Nebel oder warmen Dampf hielt. Auf sein Befragen erklärte der Steuermann, dass er einen Unterschied in der Temperatur der Luft bemerke; ein herbeigerufener Mate wie überhaupt alle an Deck hatten dasselbe Gefühl. Die Erscheinung dauerte ½ St., vorher war kein Nebel oder Dunst gewesen. Die See gieng über in eine Art von Aufwallen und Brechsee, als wenn sie von unten emporgehoben würde, nahm aber später ihren gewöhnlichen Zustand wieder an, als man aus dem Bereiche dieses Nebels war (Findlay, N. A., S. 797. Anm.). Die Erwähnung des warmen Dampfes

Digitized by Google

und des Aufwallens der See dürfte uns berechtigen, auch hier an eine submarine Eruption zu denken, wie solche gerade NE. von Terceira, allerdings in etwas grösserer Nähe bei den Azoren, ja häufiger beobachtet sind.

Weniger Beweiskraft besitzen Notizen über „entfärbtes Wasser" oder irgend eine Farbe des Meerwassers, selbst wenn der Farbenwechsel plötzlich und nach einem Seebeben eintritt. Besonders eine weissliche Färbung, wie sie Capt. Backhaus vom deutschen Schiff „*Carl*" am 22. Dec. 1884 erwähnt (A. H. 1885, S. 600), kann ihren Ursprung in thierischen Organismen haben, nicht minder das „milchweisse Wasser", durch welches Capt. Simpson von der „*Coronella*" nach einem Seebeben, 100 Sm. SE. von Juan Fernandez, 2 St. lang fuhr. Die beträchtliche Menge todter Fische, welche man an der Oberfläche sah, liesse sich allenfalls auf Trübung des Wassers durch submarine Eruptionsproducte zurückführen, kann aber auch, und die Erklärung ist mir wahrscheinlicher, von den unterseeischen Erdstössen herrühren.

In dem gleich eingangs ausführlich wiedergegebenen Bericht des Capt. Hansi von der „*Levuka*" lesen wir, dass der Compass, der kaum 30 Sec. nach dem Seebeben beobachtet wurde, sich vollkommen ruhig verhalten habe. Wenn überhaupt der Magnetnadel während des seismischen Actes Beachtung geschenkt ist, so findet sich fast stets die Bemerkung, dass eine Unruhe derselben nicht eingetreten sei. Nur wenige Fälle machen eine Ausnahme davon: Capt. Christie von der „*Euphrosine*" sagt nur, dass der Compass geschwankt habe, während Capt. z. S. Cornelissen vom Dampfschiff „*Suriname*" meldet, bei dem Seebeben vom 13. Dec. 1858, welches er 9 Meilen W. von Ternate verspürte, seien die Compasse so wild gewesen, dass sie erst nach 5 Minuten zur Ruhe kamen! (Med. K. N. M. J. 1867; R. en O., K. N. M. J. 1879. S. 48.)

Noch merkwürdiger ist die Mittheilung eines Capitäns, welcher zur Zeit des Erdbebens vom 12. Oct. 1856, das bekanntlich das ganze östliche Becken des Mittelländischen Meeres durchkreuzte, sich in Sicht von Candia befand, mehrere Meilen von der Küste entfernt; seiner Aussage nach drehte sich die Nadel seiner Bussole sieben oder achtmal um sich selber und blieb dann so stehen, dass, wenn er sich nach ihr gerichtet hätte, er nach Malta anstatt in den Hafen von Canea gelangt wäre (M. A. Br. 8, 1859, S. 68). In dem in der Nature, XXXIV, 1886—87, S. 458 veröffentlichten

Digitized by Google

Bericht über ein vom Dampfer „*Thessaly*“ nahe bei der vulkanischen Felsinsel St. Paul verspürtes Seebeben heisst es nur, dass der Compass während der Erderschütterung sehr unruhig gewesen sei. Als eine rein mechanische Folge des Erdstosses diese Unruhe der Magnetnadel aufzufassen, geht nicht an, eine solche äussert sich vielmehr darin, dass die Nadel im Gehäuse abgeworfen wird oder sonst irgendwie in Unordnung geräth. Wir halten uns für berechtigt, das Schwanken des Compasses in ursächliche Beziehung zu der seismischen Erregung zu bringen. Was der Thatsache aber erst ihre hohe Bedeutung verleiht, ist der Umstand, dass wenigstens in den beiden ersten Fällen das submarine Erdbeben mit einer Fluthbewegung des Meeres in Verbindung stand. Wir erinnern uns, dass der Capt. Christie selber aus der mächtigen Wellenbewegung der See den Schluss zog, er müsse eine grossartige submarine Eruption passirt haben. Das holländische Kriegsschiff „*Suriname*“ erfuhr auf seinen Fahrten durch den Ostindischen Archipel, dass der unterseeische Erdstoss gleichzeitig in der Minahassa als ein aussergewöhnlich langes und heftiges Erdbeben aufgetreten und von einem englischen Schiff 25 engl. M. N. von Almaheira gefühlt sei, sowie dass in der ganzen Molukkenstrasse vom Bangaja-Archipel im S. bis zu den Sangir- und Talaut-Inseln im N. ein Seebeben, d. h. eine Fluthwelle, viel Schaden angerichtet habe. Der Ursprung dieser mächtigen Erregung wird wohl in der Nähe von Ternate zu suchen sein.

Im Anschluss hieran mögen der Vollständigkeit wegen noch zwei Thatsachen Erwähnung finden, die beide gewiss nur als mechanische Wirkungen auf das menschliche Nervensystem in Folge des plötzlichen Stosses und der ungewohnten Bewegung zu erklären sind. Die Capitäne Hansi und Spray berichten übereinstimmend, dass alle an Bord ein sonderbares Gefühl überkommen sei, als wenn man elektrisirt würde; andererseits wurden bei dem uns schon bekannten Seebeben vom 24. Aug. 1869, an der Westküste von Südamerika, die meisten Mitreisenden des Dampfers „*Payta*“ von einem unbeschreiblichen Unwohlsein befallen, das sich nicht gleichmässig bei allen äusserte; auf dem englischen Kriegsschiff „*Dee*“ hatte man am 8. Febr. 1843 bei dem Erdbeben auf Antigua das Gefühl von Übelkeit und Schwindel, allerdings muss hinzugefügt werden, dass das Schiff gleichsam hin- und hertaumelte, mit solcher Gewalt zitterte und sich schüttelte, dass es kaum möglich war, sich auf den Füssen zu halten (N. Mag. 14, S. 170; 16, S. 263).

Digitized by Google

Von denjenigen Erscheinungen, welche die Seebeben in gleicher Weise wie die Erdbeben begleiten, ist zunächst das Schallphänomen anzuführen. Es wird sehr verschieden als rollendes, rasselndes und brausendes Geräusch, als Zischen, Stöhnen oder Heulen bezeichnet, meistens aber mit dem Rollen eines schwer beladenen Wagens, bei grösserer Stärke mit dem eines entfernten Donners oder gar mit dem Donner beim Abfeuern schwerer Geschütze verglichen. Sehr bezeichnend schilderte Capt. z. S. Mexsing I Commandant S. M. S. „*Prinz Adalbert*“, das Geräusch wie dasjenige, welches von dem unter Wasser abgelassenen und an die Oberfläche entweichenden Dampfe ausgeht, welches dann in ein donnerähnliches Gepolter, ähnlich dem Ton reissenden Fluss- oder Stromeises übergieng. Das Getöse wird stets als unterseeisch angegeben, indem es aus dem Ocean oder vom Schiffsboden zu kommen scheint; trotzdem ist vorgekommen, dass es die ganze Atmosphäre erfüllte und erschütterte und dass man seine eigene Stimme nicht vernehmen konnte. Demnach ist die oben erwähnte Mittheilung der beiden Schiffe „*The Maries*“ und „*Watch of the Wave*“, der unterirdische Lärm sei schliesslich betäubend geworden, durchaus nicht als übertrieben anzusehen. Die Mehrzahl der vorliegenden Berichte, welche überhaupt das Schallphänomen anführen, sagt nur ganz allgemein, das Seebeben sei von einem solchen Getöse begleitet gewesen, in einzelnen Fällen scheint es später eingetroffen zu sein. Capt. Torsin vom Schiff „*Regina Coeli*“ berichtet jedoch, dass er am 30. Dec. 1856 um 4^h a. m. ein schwaches, dumpfes Geräusch gleich einem entfernten Sturm gehört habe, welches nachliess und wieder zunahm. Erst $4^h\ 15^m$ empfand man die ersten Stösse, die alle von einem ziemlich lauten Geräusch begleitet waren, ähnlich dem, welches mehrere Metallscheiben gegen einander geschlagen hervorbringen (M. A. Br. 8, 1859). Auch auf dem „*Pacific*“ vernahm man anfangs ein fast ununterbrochenes Rollen, ähnlich entferntem Donner, das sich allmählich näherte, stärker wurde und dem Lärm einer entfernten Kanonade glich. Daraus geht mit Bestimmtheit hervor, dass das Getöse mit der Erschütterung fortschreitet und in der Verbreitung gewissermaassen von der Ausdehnung des Schüttergebietes abhängig ist. Die Richtung, in der sich das Schallphänomen fortbewegt, ist, wie es in der Natur der Sache liegt, nicht leicht zu bestimmen, doch ist es einige Mal möglich gewesen; so kam das Seebeben oder vielmehr, wie vorsichtig hinzugefügt wird, das begleitende Geräusch, welches auf dem „*Pa-*

Digitized by Google

cific" gehört wurde, aus einer NE.-Richtung. Wie schwierig eine solche möglichst genaue Angabe über die Richtung ist, lässt sich am besten aus dem Bericht des Capt. Balderston vom „*Belfast*" ersehen, der überhaupt für diesen Punkt höchst interessant ist. Die Erschütterung war von einem lauten, rollenden Geräusch begleitet, das, in der Cajüte gehört, dem glich, welches durch Rollen eines grossen, leeren, eisernen Wasserbehälters über Deck hervorgebracht wird, auf dem Deck aber und in freier Luft sich wie ein nicht weit entfernter Donner ausnahm und die ganze Atmosphäre zu erfüllen schien. Die Richtung, aus welcher dasselbe kam, konnte nicht festgestellt werden, doch schien es sehr schnell durch die Luft nach SW. zu ziehen. Das Geräusch gieng schliesslich in ein ganz schwaches Rollen über, das, nachdem es nach SW. durch die Luft vorübergezogen war, wie unter den Horizont tauchend verschwand. Ist es hier nur ein gleichmässiges Rollen, das in seiner Intensität und dem Fortschreiten in gewisser Abhängigkeit von der seismischen Bewegung steht, so war bei dem Seebeben der „*Regina Coeli*" jeder Stoss immer von demselben dumpfen Geräusch begleitet, das in demselben Maasse, wie die Stösse leichter wurden, sich immer mehr und mehr entfernte. Wenn nicht bei jedem submarinen Erdbeben auch das unterirdische Geräusch angeführt wird, so wird es sicher in vielen Fällen eben nicht vernommen sein, es kann aber auch Schuld des Berichterstatters sein, der in der kurzen Mittheilung die Erwähnung unterliess. Im anderen Falle ist nicht zu erklären, warum bei ein und demselben Seebeben, über welches mehrere Berichte vorliegen, wie z. B. bei dem vom 22. Dec. 1884 zwischen den Azoren und Madeira, in einigen das Schallphänomen ausführlich geschildert wird, während andere darüber schweigen.

Ob meteorologische und atmosphärische Anomalieen, ob besonders der Barometerstand in irgend welcher Beziehung zu Erdbeben stehen, ist eine noch nicht ausgemachte Streitfrage. In der Erwartung, gerade in Schiffsberichten reichhaltige und zuverlässige Angaben über den fraglichen Punkt zu finden, sieht man sich leider hinsichtlich der älteren Berichte sehr getäuscht; nur in den Mittheilungen der letzten Jahre ist auf die meteorologischen Zustände Rücksicht genommen. Unter solchen Verhältnissen werde ich mich darauf beschränken, das Wenige, was zu meiner Kenntniss gekommen ist, einfach wiederzugeben; weiteres kann nur von einer zukünftigen Veröffentlichung reicheren Materials und von besseren Beobachtungen erwartet werden.

Digitized by Google

Es ergiebt sich, dass Seebeben sowohl bei hohem Barometerstand als bei ganz niedrigem Luftdruck vorkommen. Das dänische Schiff „*Tjalfe*“ verspürte eine erste ganz leichte Erschütterung am 28. Aug. 1885, 11^h a. m. während eines Sturmes mit sehr niedrigem Luftdruck, der um 2^h p. m. sein Minimum mit 724 mm erreichte, eine andere ausserordentlich starke am 1. Sept. 10^h 15^m a. m. bei ruhiger See und schönem Wetter; das Barometer stand auf 754 mm. Während des Seebebens bei den Azoren, wie wir fortan kurzweg jenes schon mehrmals erwähnte vom 22. Dec. 1884 nennen wollen, herrschte auf dem ganzen Gebiete zwischen den Azoren und Madeira hoher Luftdruck. Dr. J. M. Barry hebt hervor, dass ein Wechsel im Wetter eintrat. Der betreffende Abschnitt seines Berichtes, der in Bezug auf diesen Punkt als Muster gelten kann, lautet folgendermaassen: „Das Wasser war nicht entfärbt, zeigte auch keine ungewöhnliche Erregung. Das Barometer stand auf 28.80, kein Wechsel im Wetter vor oder nach dem Fallen desselben um 3/10. Das Thermometer zeigte morgens eine Temperatur von 46° F., Wasser 48° F., Wind NNE. mässig. Die Schiffscompasse wurden nicht afficirt, das Ruder bewegte sich frei, beim Steuern zeigte sich keine Schwierigkeit.“

Capt. Gales von der „*Florence Nightingale*“ macht auf die gleichzeitig mit dem Seebeben eingetretenen atmosphärischen Vorgänge aufmerksam; ebenso heisst es in dem Journal des „*Hamilton*“: „Gleichzeitig mit den Stössen nahm der Himmel eine dunkle, bleierne Farbe an, die Atmosphäre war ebenfalls dick und neblig.“ Dass ein Zusammenhang zwischen den Vorgängen im Meer und am Himmel bestände, soll damit nicht behauptet werden.

An der Hand einer Reihe von ausführlichen Schilderungen konnten im Vorstehenden die äusserlich wahrnehmbaren Wirkungen der submarinen Erdbeben und die letztere häufig begleitenden Erscheinungen dargelegt werden. Überblicken wir die Darstellung noch einmal, so lassen sich die Resultate kurz in folgende Punkte zusammenfassen:

1) Die Intensität der Seebeben unterliegt den weitestgehenden Schwankungen.

2) Nach dem Gefühl und dem mechanischen Effect kann man undulatorische und succussorische Bewegungen unterscheiden.

3) Letztere vermögen das Schiff je nach der Richtung, in der dasselbe zu ihnen steht, emporzuheben, auf die Seite zu stossen oder in der Fahrt aufzuhalten.

Digitized by Google

4) Bei den meisten und gerade den heftigsten Seebeben wird weder in der eigentlichen Tiefsee, noch in flachen Meeren das Wasser in irgend einer Weise afficirt oder es werden nur eigenthümliche Wasserstrahlen bis zu geringer Höhe emporgeworfen.

5) In einigen Fällen sind Seebeben mit einer ungewöhnlichen Wellenerregung des Meeres verbunden oder von einer einzelnen hohen See begleitet.

6) Temperaturveränderungen des Wassers deuten auf submarine Eruption, nicht so sicher auch Veränderung der Wasserfarbe.

7) Magnetische Störungen sind sowohl bei denjenigen Seebeben beobachtet, in deren Gefolge Fluthwellen auftraten, als auch bei solchen, welche von denselben nicht begleitet waren.

8) Von den begleitenden Erscheinungen stehen sicher nur die Schallphänomene mit den Seebeben in ursächlicher Beziehung.

Für die weitere Untersuchung über die Dauer der seismischen Erregung der suboceanischen Erdrinde, über die Ausdehnung und Abgrenzung des Schüttergebietes, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit tritt uns eine Schwierigkeit entgegen, die alle Mühe zu positiven Resultaten zu gelangen von vornherein vereitelt. Während nämlich für jedes nur einigermaassen bedeutendere Erdbeben wenigstens in civilisirten Ländern dem, der dasselbe einem Specialstudium unterziehen will, eine Fülle von Beobachtungsmaterial zu Gebote steht, auf Grund dessen die angeführten Elemente eine genaue Erörterung erfahren können, besitzen wir für ein submarines Erdbeben meist nur die Meldung *eines* Schiffes, das zufällig das erschütterte Gebiet passirte, vielleicht nur noch von den letzten, ersterbenden Schwingungen getroffen wurde. Gleichzeitige Beobachtungen von mehreren, räumlich weit getrennten Schiffen liegen, abgesehen von einigen aus früheren Jahrzehnten, die sich aber in Bezug auf die Zeitangaben als unzuverlässig erwiesen haben, nur aus der allerjüngsten Zeit vor. Nehmen wir dazu noch den Umstand, dass das Fahrzeug wohl nur selten sich gezwungen sieht still zu liegen, sondern seinen Ort stets verändert, so wird es verständlich sein, warum es unmöglich ist, über die angeführten Punkte jetzt schon zu einem auch nur einigermaassen befriedigenden Ergebnisse zu kommen. Am besten sind wir noch über die Dauer der Seebeben unterrichtet. Von den etwas über 300 Beispielen, die wir zusammenstellen konnten, enthalten zwar nur 105 eine genaue Zeitangabe, dieselben genügen aber völlig, um erkennen zu lassen, dass die Dauer eines einzelnen, ununterbrochen anhaltenden

Digitized by Google

Seebebens zwischen einem Momente und 30 Minuten schwankt. Gruppiren wir die 105 Zeitbestimmungen, so ergiebt sich, dass 60 eine Dauer von 1—60 Sec. angeben und 45 eine solche von mehr als 1 Min. Innerhalb der ersten Gruppe kommen 20 Angaben vor, in denen sich die Zeit zwischen 1 und 5 Sec. bewegt; hierzu sind auch diejenigen gerechnet, welche ganz allgemein eine Dauer von einigen oder mehreren Secunden angeben. 10 Beobachtungen kommen auf die Dauer von 5—10 Sec., 9 auf 10—15 Sec., 11 auf 15—30 Sec. und 10 wieder auf 30—60 Sec. Relativ am häufigsten sind die Angaben über eine Dauer von 1—5 Min. vertreten, nämlich 35mal, während sich nur 4 finden, die bis zu 10 Min., und 5, die über 10 Min. angeben. Ganz allein steht die Nachricht da, dass das Schiff „*Lady Jane*" am 4. Oct. 1854 im östlichen Nord-Pacific Stösse erfuhr, welche dasselbe für die Dauer von 30 Min. erzittern liessen wie die Blätter einer Zitterpappel (B. A. Br. 22, 1. 1855).

Vergleichen wir damit einmal die Zeitangaben, die von den grösseren und verheerenden Erdbeben bekannt sind. Nach Roth dauerte von den drei heftigen Stössen, welche am 26. März 1812 Stadt und Provinz Caracas zerstörten, der stärkste etwa 3—4 Sec.; bei dem fürchterlichen Erdbeben vom 6. Juni 1692 auf Jamaica war alles in 3 Min. vollendet; das Erdbeben auf Martinique vom 11. Jan. 1839 bestand aus zwei sehr heftigen Stössen, welche in 30 Sec. vorüber waren; die Katastrophe, welche am 8. Febr. 1843 Guadeloupe traf, dauerte 1½ Min. Selbst bei dem grossen Erdbeben von Riobamba am 4. Febr. 1797 hielten die ersten Stösse nur 4 Min. an, und beim phokischen Erdbeben zählte man vom 31. Juli 1870 bis zum 1. Aug. 1873 35 sehr lang andauernde Stösse. Oben ist schon angeführt, dass die gleiche Anzahl innerhalb 3 Stunden von einem Schiff im Süd-Atlantic verspürt wurde. Bedenken wir, dass im Verhältniss zu der ungeheuren Anzahl von Erdbeben die Summe der uns bekannten Seebeben eine verschwindend kleine ist, so muss auffallen, dass die Dauer der letzteren eine ausserordentlich lange ist. Freilich darf nicht verschwiegen werden, dass die seismische Erregung bei den stärkeren Erdbeben nicht in den wenigen Secunden oder Minuten erschöpft war, sie wiederholte sich Monate, selbst Jahre lang, meist in geringerer Intensität, bei dem phokischen Erdbeben und dem von Riobamba dagegen mit nicht verminderter Heftigkeit. Diesen Erdbebenschwärmen gegenüber finden sich aber auch unter den Seebeben Beispiele, welche eine

Digitized by Google

längere seismische Bewegung ein und desselben Gebietes wenigstens andeuten, sei es dadurch, dass von verschiedenen Schiffen an aufeinanderfolgenden Tagen unterseeische Stösse gemeldet werden, wie für die Fläche zwischen den Azoren und Madeira vom 18., 22., 23. Dec. 1884, oder, was jedenfalls mehr beweist, indem ein und dasselbe Schiff, das zum Stilliegen gezwungen ist, Stösse verspürt. So lag „*Stephan*", Capt. Trompetter, am 9. Nov. 1883, bei Windstille und kaum bemerkbarem Seegang, in der Mitte zwischen der Ostspitze Ombay's und der Insel Timor. „Um 7^h 30^m p. m. verspürte man plötzlich die erste heftige Erschütterung. Dieselbe wiederholte sich nach 10 Min. und zwar etwas stärker; man konnte unter den Füssen fühlen, dass das Schiff sich hob, in der Cajüte klirrte alles. Diese Stösse hielten an bis zum 10. Nov. 4^h a. m., mitunter alle 10 Min. sich wiederholend, dann trat wieder eine Pause von 1 St. ein. Von 6^h a. m. bis 11^h p. m. zeitweise immer noch Erdbeben, das sich wie fernes Heulen anhörte. Am 11. Nov. lag das Schiff still, bis 4^h a. m. anhaltendes Erdbeben. Dann wurde eine lange Zeit nichts mehr bemerkt, bis um 2^h p. m. das Schiff wieder heftige Erschütterungen bekam, die später immer seltener und weniger fühlbar wurden. Von 5^h—11^h p. m. bemerkte man mitunter noch immer leichte Erdbeben." Die seismische Phase erstreckte sich somit über einen Zeitraum von mehr als zwei Tagen (J. N. 2052; A. H. 1884, S. 181).

Irgend ein sicherer Schluss lässt sich aus dieser Zusammenstellung bei dem geringen Vergleichungsmaterial nicht ziehen; überblickt man indessen in einem der drei grossen Erdbebenkataloge, dem von Mallet oder Perrey oder den Berichten von Fuchs, eine längere Reihe von Jahren, so will es mir doch scheinen, als wenn die seismische Äusserung des Meeresbodens sowohl der Intensität wie der Dauer nach eine grossartigere sei als die der Festländer.

Als Beweis für das Maass der Verbreitung liessen sich mehrere Fälle aufzählen, in denen Schiffe auf hoher See, oft mehrere Hunderte von Meilen von den Küsten entfernt, Erschütterungen fühlten, die sich nach Verlauf einer bestimmten Zeit auch auf dem Festlande bemerkbar machten. So hatten die Schiffe „*Gladiator*" und „*Globe*" das Erdbeben von Coquimbo am 3. Mai 1858 in einer Entfernung von 160 resp. 200 Sm. vom Lande gefühlt (M. A. Br. 22, 1872). Das dänische Schiff „*Himalaya*" spürte am 24. April 1858, 7^h a. m., 330 Sm. von Valparaiso entfernt, heftige Stösse eines submarinen Erdbebens, das ungefähr 25 Sec. dauerte.

Digitized by Google

7^h 45^m a. m. war ein Erdbeben in Valparaiso von 40 Sec. Dauer (M. A. Br. 23, 1873). Indessen ist es immerhin eine missliche Sache, besonders wenn noch grössere Entfernungen angegeben werden, beide Ereignisse auf dieselbe Ursache zurückzuführen. Berechnet man nämlich den Zeitunterschied und bestimmt danach die Fortpflanzungsgeschwindigkeit, so ergiebt sich bisweilen für letztere ein so geringes Maass, dass man davon abstehen muss. aus solchen Angaben auf die Verbreitung folgern zu wollen. Es sollen deswegen alle solche Beispiele ganz ausser Acht gelassen und nur diejenigen hier mitgetheilt werden, deren Verbreitungsgebiet fern von den Continenten, inmitten der oceanischen Becken liegt.

Am 5. Febr. 1842 fand in dem äquatorialen Gebiet des Atlantic ein Seebeben von ziemlicher Heftigkeit statt (M. A. D. 1847—48). Die Erschütterung wurde gefühlt an Bord von:

Schiff	S. Br.	W. Lg.	Ortszeit
„*Ann Mary*“ . . .	0^0 26′	19^0 58′	5^h a. m.
„*Le Neptune*“ . . .	0^0 57′	20^0 47′	5^h „
„*Le Harrison*“ . .	0^0 30′	21^0 55′	5^h „

Reducirt man die Ortszeit in Greenwichzeit, so ergiebt sich ein Fortschreiten der Erdbebenwelle in westlicher Richtung. Eine Abgrenzung des Schüttergebiets ist, da es an weiteren Correspondenzbeobachtungen fehlt, nicht möglich, doch mag noch erwähnt werden, dass die ferneren Stösse, welche dem ersten folgten. nicht mehr eine solche Fläche erschütterten. Während nämlich die beiden letzten Schiffe keine weitere Erschütterung melden. weil sie sich wahrscheinlich in S.-Richtung entfernten, meldet Capt. Rackham vom erstgenannten Schiff, dass 5^h 50^m ein neuer, etwas leichterer Schlag erfolgt sei, 9^h 45^m ein noch schwächerer und endlich um Mittag ein fast unmerklicher. Seit 5^h a. m. waren 26 Sm. in SW.-Richtung zurückgelegt, die Mittagsbeobachtung ergab als Schiffsort 0^0 44′ S. Br. und 20^0 16′ W. Lg. „*Ann Mary*“ stand mithin zwar etwas südlicher als „*Le Harrison*“, aber noch lange nicht soweit westlich wie „*Le Neptune*“ zur Zeit des ersten Stosses. Die grössere Intensität des ersten Stosses scheint also einer weiteren Verbreitung der Erschütterung förderlich gewesen zu sein.

Ähnliche Angaben macht Capt. Tasche vom „*Moltke*“. Am 11. Oct. 1878 lief das Schiff um 5^h 50^m a. m., in 0^0 10′ S. Br. und 17^0 24′ W. Lg., anscheinend über ein Korallenriff, es dröhnte und schüttelte sich 45—60 Sec. Dann war alles wieder ruhig.

Digitized by Google

Gegen $7^h\ 20^m$ a. m. eine ähnliche, aber sehr leichte Erschütterung, ebenso $8^h\ 20^m$ und $9^h\ 30^m$ a. m. in $0^0\ 22'$ S. Br. und $17^0\ 40'$ W. Lg. und $0^0\ 36'$ S. Br. und $18^0\ 0'$ W. Lg., d. h. 45 Sm. SW. $\frac{3}{4}$ W. vom ersten Orte (J. N. 1042; A. H. 1879, S. 606).

Über eine ziemlich gleiche Fläche breitete sich in derselben Gegend des Atlantic das Seebeben vom 26. März 1861 aus, nachdem wenige Tage vorher, am 20. März, zwei Schiffe eine starke Erschütterung in der Nähe des Aequators überstanden hatten (Med. K. N. M. J. 1867, S. 15; Findlay, S. A., S. 208 und N. A., S. 806). Es befanden sich:

Schiff	Br.	W. Lg.	Ortszeit
„*Eleanor*“	$0^0\ 44'$ N.	$21^0\ 19'$	$10^h\ 00^m$ a. m.
„*Ortelies*“	$0^0\ 15'$ N.	$21^0\ 56'$	$9^h\ 30^m$ a. m.
„*Madge Wildfire*“ .	$1^0\ 4'$ S.	$21^0\ 52'$	$10^h\ 00^m$ a. m.

Die Zeitangaben verdienen in diesem Beispiele ebenso wenig Zutrauen wie in dem folgenden, das aber wenigstens für ein bedeutend grösseres Schüttergebiet zeugt (Med. K. N. M. J. 1867, S. 14, 15; A. H. 1877, S. 320). Am 11. März 1855 standen:

Schiff	Br.	W. Lg.	Ortszeit	Beobachtete Richtung
„*Ottoline*“ . .	$2^0\ 6'$ N.	$21^0\ 33'$	$6^h\ 16^m$ p. m.	
„*Copernicus*“ .	$2^0\ 0'$ N.	$21^0\ 30'$	$6^h\ 16^m$ „	
„*Alma*“ . .	$0^0\ 57'$ S.	$18^0\ 20'$	$6^h\ 30^m$ „	S—N?
„*Cesar*“ . .	$3^0\ 0'$ N.	$17^0\ 0'$	$6^h\ 30^m$ „	Vom Stern z. Bug
„*Nassau*“ . .	$3^0\ 42'$ N.	$17^0\ 0'$	$6^h\ 58^m$ „	E—W.

Am 12. März wurde vom Capt. Gilkison von der „*Alma*“ ein zweiter Stoss des submarinen Erdbebens und derselbe auch von einem andern Schiffe in $0^0\ 25'$ S. Br. und 18^0 W. Lg. bemerkt.

Eine Abgrenzung der Schütterfläche zu geben, um aus der Gestalt derselben auf die Art der Verbreitung, ob centrale oder lineare, zu schliessen, erlaubten die bisher angeführten Fälle noch nicht; für beide Arten besitzen wir jedoch je ein ausgezeichnetes Beispiel, welches die unterscheidenden Eigenthümlichkeiten einer jeden deutlich hervortreten lässt, nämlich für eine lineare Fortpflanzung das submarine Erdbeben, welches am 22. Dec. 1884 das Gebiet zwischen den Azoren und Madeira erschütterte, für die centrale das vom 31. Dec. 1881, welches im Meerbusen von Bengalen statt hatte.

Eine Andeutung einer linearen Bewegung könnte man in dem bedeutenden Erdbeben vom 2. April 1851 erkennen, welches von

Digitized by Google

$6^h\ 48^m\ 10^s$—$11^h\ 27^m\ 15^s$ in Santiago mit NS.-Richtung auftrat, während man in Valparaiso NE. ¼ N.-SW ¼ S. constatirte. Das Meer zeigte keine aussergewöhnliche Bewegung, auf hoher See bemerkte jedoch ein Schiff den Stoss 40 Sm. SW. von Valparaiso, in 33° 29′ S. Br. und 72° 14′ W. Lg., also genau in der angegebenen Fortpflanzungsrichtung. Die transversale Ausbreitung der Erdbebenwellen war eine sehr geringe, insofern als ein anderes Schiff in gleicher Entfernung vom Lande in NW.-Richtung, in 32° 33′ S. Br. und 72° 14′ W. Lg., das somit nur um 1° nördlicher stand, keine Erschütterung verspürte, wohl aber zur Zeit des Erdbebens ein Donnern gleich dem beim Abfeuern von Geschützen vernahm (M. A. Br. 10, 1860).

Ausser den in den Annalen der Hydrographie, 1885, S. 599 u. ff., veröffentlichten Berichten über das Azoren-Madeira-Seebeben sind mir noch einige andere bekannt geworden, so dass wir im Ganzen über 7 correspondirende Beobachtungen verfügen, deren Zeitbestimmungen im Grossen und Ganzen wohl als ziemlich zuverlässig angesehen werden dürfen. Von den in den Annalen wiedergegebenen Mittheilungen glaube ich indessen eine, nämlich die des Capt. Backhaus vom Schiff „*Carl*“ ausscheiden zu müssen. Abgesehen davon, dass die Zeitangabe $2^h\ 20^m$ a. m. im Verein mit der Position des Schiffes durchaus nicht mit den übrigen in Einklang zu bringen, wie in den Annalen ebenfalls hervorgehoben wird, ist wahrscheinlich durch ein Versehen als geographische Länge W. statt E. angegeben; wenigstens wird in der Nature, XXXI, 1884—85, S. 348, welche den gleichen Bericht bringt, ausdrücklich hinzugefügt „das ist nahe bei Cap Matapan S. von Griechenland“. Sollte sich die Vermuthung auch nicht bestätigen, so bleibt trotzdem die Zeitangabe unbrauchbar, wie ebenso die des Capt. Spray von „*Maroon*“. Während nämlich in der ersten, mir von Herrn J. G. Anderson freundlichst übersandten Notiz als Zeitpunkt des Eintretens Dez. 22. 1^h a. m. angeführt war, veränderte Capt. Spray denselben in einer Berichtigung nach Einsicht in sein Logbuch in 3^h a. m. Keine von beiden Angaben passt indessen zu den ganz zuverlässigen von „*Elisabeth Rickmers*“, „*Alma*“ und auch „*Belfast*“, die nahe bei einander standen. So verbleiben denn, wenn wir vorläufig auch von „*Vega*“ absehen, die ausserhalb der eigentlichen Fortpflanzungsrichtung stand, 5 Schiffe, deren Position folgende war:

Digitized by Google

Schiff	N. Br.	W. Lg.	Ortszeit	Greenw.-Zeit.
„*Emma Römer*“ . . .	39° 52′	28° 34′	2h 00m a. m.	3h 54m 16s
„*Ventilia*“	39° 36′	24° 23′	2h 20m „	3h 57m 32s
„*Elisabeth Rickmers*“ .	36° 44′	21° 17′	2h 35m „	4h 00m 8s
„*Alma*“	34° 52′	19° 40′	2h 42m „	4h 00m 40s
„*Belfast*“	34° 34′	19° 19′	2h 50m „	4h 7m 16s

Der Vollständigkeit wegen mögen noch folgen:

„*Maroon*“	38° 48′	19° 25′	3h 00m a. m.	4h 17m 40s
„*Vega*“	40° 31′	16° 10′	3h 00m „	4h 4m 40s

Es möge noch daran erinnert werden, dass schon am 18. Dec. 3h a. m. die britische Bark „*Helen Isabel*“ W. von den Azoren, in 38° 51′ N. Br. und 29° 55′ W. Lg., ein heftiges, 15 Min. währendes Seebeben überstanden hatte und dass am 23. Dec. Schiffe auf der Höhe von Madeira unter 33° N. Br. und 15° W. Lg., ein Seebeben empfanden. Am Tage der Haupterschütterung, am 22. Dec., wurde um 3h 28m a. m. in Lissabon und an der Küste von Galizien ein Erdbeben bemerkt, während man am gleichen Tage 2h 30m a. m. auf den Azoren, Terceira, zwei Erdstösse E.-W., durch ein paar Secunden von einander getrennt, fühlte.

Die Taf. IV beigegebene Kartenskizze des Nord-Atlantic zwischen 30°—47° N. Br. und 1°—35° W. Lg., in welche die oben angeführten Daten eingetragen sind, möge uns die Positionen der Schiffe und die Ausdehnung des submarinen Erdbebens veranschaulichen. Überblicken wir dieselbe, so fällt sofort die von NW. nach SE. laufende Fortpflanzungsrichtung von „*Emma Römer*“ bis „*Belfast*“ auf, die an Madeira vorbei bis zum 33° N. Br. und 15° W. Lg. sich fortführen lässt; nur „*Ventilia*“ und „*Maroon*“ stehen etwas weiter NE. von der Linie. Zu der gleichen Annahme eines Fortschreitens der Erschütterung in SE.-Richtung zwingt uns auch die Betrachtung der Zeitbestimmungen; mit derselben stehen aber die Beobachtungen zweier Schiffe im Widerspruch, insofern als Capt. Balderston ein Vorüberziehen des das Seebeben begleitenden Schallphänomens in SW.-Richtung wahrgenommen haben will. Legen wir dieser Angabe auch keine grosse Beweiskraft bei, da der Capitän selber erklärt, die Richtung habe nicht sicher festgestellt werden können, so heisst es doch im Journal von „*Ventilia*“ ebenfalls „das ganze Phänomen schien von NE. nach SW. zu ziehen“, also senkrecht auf die allgemeine Richtung. Dem gegenüber steht aber die ganz positive Aussage des Capt. Stricker von „*Elisabeth Rickmers*“,

Digitized by Google

dass die Erschütterung von vorn nach hinten und von W. nach E. unter dem Schiffe durch gieng.

Transversal von der Hauptlinie abgehende Wellenbewegungen müssten auf den Azoren aus einer NE.-Richtung her kommen, während auf Terceira die Erdstösse als von E. kommend bemerkt wurden. Dabei muss auffallen, dass es deren nur zwei, nach anderen mehrere, durch wenige Secunden von einander getrennte waren, während die beiden Schiffe, welche den Azoren am nächsten standen, „*Emma Römer*“ und „*Ventilia*“ 1½ bezw. 2 Min. ziemlich heftig erschüttert wurden. Die Erklärung dieses befremdenden Umstandes liefert eine einfache Vergleichung der Zeitangaben für das Eintreffen des Seebebens auf den beiden Schiffen mit derjenigen für das Erdbeben auf Terceira:

	N. Br.	W. Lg.	Ortszeit	Greenw.-Zeit
„*Emma Römer*“ . .	39° 52′	28° 34′	2h 00m a. m.	3h 54m 16s
Terceira . . .	38° 43′	27° 20′	2h 30m „	4h 19m 20s
„*Ventilia*“	39° 36′	24° 23′	2h 20m „	3h 57m 32s

Halten wir mit der ganz bedeutenden Abweichung, welche sich für Terceira in Bezug auf den Zeitpunkt ergiebt, noch die Thatsache zusammen, dass „*Emma Römer*“ nur 90 Sm. NW. z. N. — und „*Ventilia*“ 145 Sm. N. 68° E. von Terceira standen, so ist klar, dass die von den Azoren gemeldete Erderschütterung mit dem Seebeben in keiner Beziehung gestanden haben kann.

Dieses Resultat zwingt uns zu dem Schluss, dass die seitliche Ausdehnung der Schütterbewegung überhaupt eine sehr geringe war. Schon am 18. Dec. erstreckte sich das Seebeben, welches „*Helen Isabel*“ auf 38° 51′ N. Br. und 29° 55′ W. Lg. erfuhr, trotz der langen Dauer nicht einmal bis „*Patagonia*“, die am Mittag desselben Tages in gleicher Breite, aber genau 4° westlicher stand. 3h a. m. allerdings wohl eine Strecke weiter im SW. Am 22. Dec. war „*Patagonia*“ beträchtlich nach NE. vorgerückt und befand sich um Mitternacht bereits auf 45° 25′ N. Br. und 26° 30′ W. Lg.; bis 2h a. m. werden „*Patagonia*“ wie „*Godeffroy*“ (46° 0′ N. Br. und 24° 0′ W. Lg.) noch etwas weiter NE. gesegelt sein. Es darf uns nicht überraschen, dass diese beiden so wenig wie „*Leipzig*“ auf 32° 0′ N. Br. — 30° 0′ W. Lg. im Bereiche der Erschütterung standen. Wenn aber selbst das Schiff „*Hugo*“, das um Mitternacht sich auf 40° 45′ N. Br. und 29° 0′ W. Lg. befand, also zwei Stunden später kaum 70 Sm. NNW. von „*Emma Römer*“ entfernt

Digitized by Google

gewesen sein wird, keine Erschütterung verspürte, so ist damit gewiss der vollgültige Beweis erbracht, dass die seitliche Verbreitung der Erdbebenwelle im Verhältniss zu der ungeheuren linearen Ausdehnung äusserst klein war. Dem widerspricht nun anscheinend die Thatsache, dass „*Vega*“ um 3h a. m. O.-Z., auf 40° 31′ N. Br. und 16° 10′ W. Lg., über 300 Sm. NE. von „*Elisabeth Rickmers*“ entfernt, verschiedene leichte Erschütterungen spürte, während sich in dem Journal von „*Inca*“, die ungefähr ebenso weit SSE. von „*Emma Römer*“ stand, keine darauf bezügliche Bemerkung vorfindet. Indessen ist einerseits zu beachten, dass zwischen beiden Schiffen die Azoren lagen, auf denen ja schon die Erschütterungen, wie soeben nachgewiesen, nicht mehr bemerkbar waren, andererseits ist es mir noch sehr zweifelhaft, ob das Seebeben der „*Vega*“ überhaupt mit der Hauptzone der Erdbebenwellen, sei es auch nur als transversal fortgepflanztes in Beziehung stehe, ob nicht vielmehr, worauf besonders die Angabe von „*Ventilia*“ hinweist, durch den ersten Stoss secundäre Bewegungen veranlasst wurden, die senkrecht auf die Hauptlinie gerichtet waren. Entschieden local ist das aus Lissabon vom 22. Dec. 3h 28m a. m. gemeldete Erdbeben, wie folgende Zusammenstellung sofort erweist:

	N. B.	W. Lg.	Ortszeit	Greenw.-Zeit.
„*Vega*“	40° 31′	16° 10′	3h 00m a. m.	4h 4m 10s
Lissabon . . .	38° 42′	9° 8′	3h 28m „ „	4h 4m 32s

„*Vega*“ stand N. 60° W. 218 Sm. von Lissabon.

Um ganz sicher in Betreff der Art des Fortschreitens der Erdbebenwellen zu gehen, wurde zum Überfluss auch noch der Versuch gemacht, unter Anwendung einer der geometrischen oder der analytischen Methoden, welche J. Milne (Trans. Seismol. Soc. Japan VII, 2. 1884) zur Berechnung des Epicentrums auf Grund von Zeitbestimmungen über das Eintreffen des Erdstosses an verschiedenen Punkten aufgestellt hat, ein solches zu fixiren. Es führte, wie vorauszusehen war, auf ein Gebiet NW. von den Positionen der Schiffe „*Hugo*“ und „*Patagonia*“, etwa 44° N. Br. und 31° W. Lg.

Das Resultat der vorstehenden Erörterung glauben wir kurz dahin zusammenfassen zu können, dass das submarine Erdbeben vom 22. Dec. 1884 sich in ausgesprochen linearer Richtung von den Azoren bis fast nach Madeira fortpflanzte, dass im Verhältniss zu der Länge die seitliche Verbreitung geringfügig war,

Digitized by Google

dass weder die Erdbeben von Lissabon und Terceira am 22. Dec., noch auch das grosse spanische Erdbeben, welches am 25. Dec. $8^h\ 55^m$ p. m. begann, in irgend einem ursächlichen Connex damit standen.

Ein grösseres Schüttergebiet liess sich also in Folge einer günstigen Gruppirung der Schiffe in nur vier Fällen nachweisen, in einem Falle, dem letzten nämlich, sogar genauer umgrenzen. Dass sich die Möglichkeit zu einer solchen Bestimmung trotz der grösseren Anzahl von Berichten über Seebeben, die wir gerade aus der jüngsten Zeit besitzen, und bei dem in den letzten Jahrzehnten so mächtig gesteigerten Schiffsverkehr nicht öfters bietet, kann nicht auf blossem Zufall beruhen, sondern muss eine tiefere Ursache haben. Wohl auf keinem anderen Gebiete des Atlantic drängen sich heute die Schiffahrtslinien so eng zusammen als in dem äquatorialen, wo fast alle auf der Aus- oder Heimfahrt befindlichen Schiffe östlich vom St. Paul's-Felsen die Linie schneiden. Gerade hier treffen wir, wie im dritten Abschnitt näher ausgeführt ist, auf zwei nahe bei einander liegende, seismisch stark erregte Zonen, von denen die eine vom St. Paul's-Felsen östlich bis gegen den 26° W. Lg. sich erstreckt, die andere vom 17° bis 25° W. Lg. und mehr südlich vom Aequator liegt. Dieser letzteren gehören drei der oben angeführten Fälle einer einigermaassen bedeutenderen Ausdehnung der Schütterfläche an, die selbst bei dem Seebeben vom 11. März 1855 nur den Raum zwischen 3° 42′ N. Br. — 0° 57′ S. Br. und 17° 0′ W. Lg. — 21° 33′ W. Lg. umfasste. Dass die Verbreitung der übrigen aus diesen Gebieten bekannt gewordenen Seebeben keine so grosse gewesen sein kann, dafür lassen sich ausser dem völligen Mangel an correspondirenden Beobachtungen auch directe Beweise beibringen. Am 30. Dec. 1856 hatte Capt. Mathieu vom „*Godavery*“ um 4^h a. m. unter der Linie auf 20° W. Lg. ein Seebeben, welches ungefähr 10 Min. dauerte. Das Schiff wurde schrecklich gestossen, ohne irgend welchen Schaden zu nehmen. Um dieselbe Zeit hörte Cap. Tousin vom Schiff „*Regina Coeli*“ nur ein schwaches Geräusch gleich einem entfernten Sturm; dasselbe liess nach und nahm wieder zu. Erst $4^h\ 15^m$ a. m. empfand man heftige Stösse und fieng das Schiff an zu zittern während nur ungefähr 2 Min., und doch stand dasselbe in unmittelbarster Nähe, nämlich auf 0° 10′ S. Br. und 19° 15′ W. Lg. Während nun aber vom „*Godavery*“ keine weitere Mittheilung vorliegt, meldet Capt. Tousin noch einige leichte Stösse bis 8^h a. m., immer

Digitized by Google

von dumpfem Geräusche begleitet, welches sich indessen mehr und mehr entfernte, bis es gegen 4^h p. m. plötzlich aufhörte (M. A. Br. 8, 1859). Ganz ebenso liegen die Verhältnisse bei dem Seebeben vom 8. März 1842, welches Capt. Botte von „*La Louise*“ um 2^h p. m. und Capt. Joyaux um 1^h p. m. 150 Sm. WSW. von der Insel Flores, Azoren, fühlten. Ersterer bemisst die Dauer der Erschütterung auf 3 Sec., ein zweiter, weniger starker Stoss traf nach einer Fahrt von 9 Sm. ein. Eine Stunde früher hatte nun aber Capt. Joyaux ein submarines Erdbeben von gleicher Dauer verspürt, dem nach 10 Sec. ein zweites, ebenso heftiges, nach einer Minute ein drittes, weniger fühlbares folgte (M. A. D. 1847—48). Die Entfernung zwischen den beiden Schiffen kann, wenn wir den geringen Zeitunterschied von einer Stunde bedenken, keine so grosse gewesen sein, aus den soeben gemachten Angaben geht aber hervor, dass wir es mit zwei seismischen Erscheinungen zu thun haben, die nicht bloss zeitlich getrennt sind, sondern auch, und darauf ist besonders Gewicht zu legen, local sehr beschränkt gewesen sein müssen, da es ausdrücklich heisst, Capt. Joyaux habe sich mit seinem Schiff in derselben Gegend wie „*La Louise*“ befunden. Die letzte Bemerkung schliesst allerdings die Möglichkeit einer grösseren Entfernung zwischen beiden Schiffen noch nicht gerade aus, wie sie bei dem Seebeben vom März 1855 ausgeschlossen ist: Capt. Hutchinson berichtet nämlich, dass sein Schiff unter dem Aequator in ungefähr 20° W. Lg. zweimal anfstiess, Capt. Bosquet dagegen, welcher unmittelbar darauf passirte und zwar in einem Abstand von nur 10 Sm., bemerkte nichts Aussergewöhnliches (N. Mag. 1856, S. 50; M. A. Br. 22, 1872).

Es unterliegt für mich keinem Zweifel, dass für manches submarine Erdbeben sich in noch bestimmterer Weise durch Vergleichung der Journale anderer Schiffe ein Schüttergebiet nachweisen liesse, dessen Ausdehnung nur eine geringe war. Ist doch nicht einmal das Seebeben, welches Capt. v. Hachten vom Schiff „*Esther*“ und „*Sophie*“ am 7. Juli 1869 verspürte, auf St. Thomas bemerkt worden, obgleich das Schiff nur 22 Sm. NEzE. von der Insel stand (J. N. 4); Capt. Dugaste befand sich am 25. März 1862 gar nur 12 Sm. von der Insel Simalu, das äusserst heftige Seebeben aber, welches 55 Sec. anhielt, erstreckte seine Wirkung nicht bis auf die Inseln, da A. Perrey in seinem Katalog (M. A. Br. 24, 1875) ausdrücklich hinzufügt, dass weder auf Sumatra noch auf irgend einer anderen Insel an dem Tage ein Erdbeben gewesen sei.

Digitized by Google

Gegen die beiden zuletzt angeführten Beispiele lässt sich immerhin einwenden, dass die Berichterstattung über Erdbeben für die genannten Gegenden, zumal da es sich um frühere Jahrzehnte handelt, lückenhaft sei, ein Schweigen also noch nichts für unsere Annahme beweise. Ein solcher Einwand trifft aber für die Gegenwart nicht mehr zu, wo auch nicht die leiseste Zuckung der Erdrinde der Beobachtung entgeht. Kommt dazu noch der Umstand, dass das Seebeben ans derjenigen Meeresstrasse gemeldet wird, durch welche der grösste Schiffsverkehr geht, ohne dass gleichzeitige Berichte von mehreren Schiffen oder von den nahegelegenen Küsten vorliegen, so darf man keinen Augenblick schwanken, auf ein äusserst geringes Verbreitungsgebiet des Seebebens zu schliessen.

H. Mohn macht nun in der Nature, XXXIV, 1886, S. 496 von einem submarinen Erdbeben Mittheilung, welches Capt. H. J. Olsen von der Brigg „*Wilhelmine*“ am 1. Sept. 1886 im Canal verspürte. Zwischen $3^h\ 30^m$ und 4^h p. m. bemerkte derselbe dreimal in kurzen Intervallen ein rasselndes Getöse, während dessen das Schiff so heftig zitterte, dass sowohl die Schotten der Cajüte als auch das Geschirr auf dem Tische klirrte. Die Berechnung des Schiffsortes nach dem Logbuch ergab $50^0\ 10'$ N. Br. und $1^0\ 40'$ W. Lg. Das Schiff stand also im Augenblick der Erschütterung ziemlich in der Mitte des Canals, gleich weit von der englischen und französischen Küste entfernt. Von dem nächsten Punkte der südlichen Küste Englands, St. Catherine Pt., auf der Insel Wight, stand „*Wilhelmine*“ 28 Sm. S. $2\frac{3}{4}$ W. und von Needles 30 Sm. S. $\frac{1}{2}$ W., nur um ein geringes weiter stand das Schiff von der Küste der Normandie ab, nämlich 32 Sm. N. 4^0 W. von Cherbourg und ebenfalls 32 Sm. N. 28^0 W. von Cap Barfleur. Wenn auch Erdbeben der französischen Canalküste nicht so sehr bekannt werden, so bleibt doch keine Erschütterung der englischen Küste, wenn eine solche bemerkt wurde, in der „Nature“ unerwähnt. Erdbeben, welche vom Festlande durch den Canal nach den britischen Inseln hinübersetzen, sind nun öfters in dem Katalog von A. Perrey erwähnt, dieselben haben auf den Schiffen im Canal die gewöhnlichen Erscheinungen hervorgerufen; die seismische Erschütterung vom 1. Sept. 1886 steht aber im schroffen Gegensatz zu diesen, sie muss als Seebeben in dem eingangs bezeichneten Sinne aufgefasst werden, dessen Schütterfläche sehr gering war.

Sollte es ferner ein blosser Zufall sein, dass so höchst selten ein Fortschreiten der Erschütterung unter dem Schiffe durch con-

Digitized by Google

statirt werden konnte, dass meistens von einem Stoss die Rede ist, welcher ein mehr oder minder starkes Erzittern des Schiffes hervorruft? Der fast stehend gewordene Ausdruck, es habe den Anschein gehabt, als sei das Schiff auf eine Untiefe aufgefahren oder habe auf ein Riff gestossen, deutet meiner Meinung nach auf kurze succussorische Stösse, welche das Schiff vertical von unten treffen. Es liegt in der Natur der verticalen Erdbeben und in den Eigenschaften des flüssigen Mediums, durch welches die Stösse sich verbreiten, begründet, dass ihre seitliche Fortpflanzung gering ist. Die submarinen Erdbeben haben demnach in vieler Hinsicht Ähnlichkeit mit einer gewissen Classe von Erdbeben, welche wie diejenigen der Insel Ischia eine hohe Intensität des Stosses und enge Beschränkung des Schüttergebietes als charakteristische Eigenthümlichkeiten an sich tragen. Wir sind somit zur Bestätigung der Ansicht gekommen, welche R. Mallet schon in seinem ersten vor der englischen Naturforscherversammlung über die Erdbebenphänomene erstatteten Berichte ausgesprochen hat, dass nämlich das Schüttergebiet der verticalen Stösse, besonders bei den auf See angestellten Beobachtungen meist auf einen kleinen Raum beschränkt sei (R. Br. A. 1850).

Treten wir jetzt in eine Erörterung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der submarinen Erdbebenwellen ein, so wird es sich empfehlen dieselbe an die Discussion des Azoren-Madeira Seebebens anzuschliessen. Wollte man die Entfernung zwischen den beiden am weitesten von einander abstehenden Schiffen, nämlich zwischen „*Emma Römer*“ und „*Belfast*“ durch die Summe der Distanzen zwischen den einzelnen Schiffen darstellen, so würde sich, da „*Ventilia*“ abseits von der Linie stand, eine zu hohe Ziffer ergeben. Unserer Annahme entsprechend können wir sie entweder aus der Strecke von „*Emma Römer*“ bis „*Elisabeth Rickmers*“ und derjenigen von hier bis „*Belfast*“ zusammensetzen, oder auch, da beide Linien noch unter einem stumpfen Winkel zusammenstossen, gleich der Entfernung der beiden äussersten Punkte setzen; der Unterschied ist übrigens nicht so gross, er beträgt nur 5 Sm. Aus der oben aufgestellten Tabelle berechnet sich die Distanz von „*Emma Römer*“ und „*Belfast*“ zu 545 Sm., die Zeitdifferenz zu 13 Min. Daraus ergiebt sich die ausserordentlich hohe Fortpflanzungsgeschwindigkeit von fast 42 Sm. in der Minute oder 1295 m in der Secunde. Diese Zahlen können aber nur als Mittelwerthe gelten, im einzelnen treten Modificationen auf, die ein ganz anderes

Digitized by Google

Resultat liefern: Ihr Maximum erreichte die Geschwindigkeit auf der ersten der beiden oben genannten Strecken, nämlich über 1 Sm. in der Secunde, während sie auf der zweiten kaum $\frac{1}{3}$ Sm. betrug.

Die Genauigkeit und Zuverlässigkeit solcher Ermittelungen hängt von der Schärfe der Zeitbeobachtungen ab, aber gerade in dem vorliegenden Falle haben wir alle Ursache zu bezweifeln, dass die letzteren exact sind, die berechneten Zahlen können daher auch nur als annähernd richtige bezeichnet werden.

Den hohen Werth möglichst genauer Zeitangaben führt uns sofort das submarine Erdbeben vor Augen, welches am 31. Dec. 1881 den gesammten bengalischen Meerbusen sowie die denselben umschliessenden Küsten von Vorder- und Hinterindien erschütterte. Wir verdanken die exacte Fixirung des Moments, in welchem das Erdbeben eintrat, ganz allein dem Umstande, dass rund um den Meerbusen eine Anzahl von Fluthmessern aufgestellt sind, welche die Erdbebenwelle und die nachfolgenden Fluthwellen registrirten. Dadurch wurde es ermöglicht, die Lage des Epicentrums, die Oberflächengeschwindigkeit der Erd- und Fluthwelle und die ungefähre Gestalt des seismischen Herdes mit einer so hohen Genauigkeit zu bestimmen, wie es wohl bisher noch in keinem Falle möglich war. Bei der grossen Wichtigkeit, welche dieses Phänomen sowohl an und für sich, als ganz besonders für unsere Frage hat, wollen wir an der Hand der beiden Berichte, welche darüber veröffentlicht sind, des Memorandums von Major Rogers (Proceedings of the Asiatic Society of Bengal, 1883, S. 60) und einer erneut von R. D. Oldham angestellten Untersuchung (Records of the Geological Survey of India, 1884, S. 47) die Hauptpunkte, soweit sie für uns in Betracht kommen, wiedergeben.

Die Wirkungen des Erdbebens erstreckten sich vom Meeresboden der Bai aus über einen beträchtlichen Theil der östlichen Halbinsel und Bengalen, machten sich besonders auf den Andamanen und Nikobaren fühlbar, während die östliche Küste von Birma verhältnissmässig leicht afficirt wurde. Ob der Stoss zu Chunar in Bengalen gefühlt wurde, ist zweifelhaft, den nördlichsten Punkt des Schütterbezirks bezeichnet demnach Gaya; Hazaribagh und Akyab wurden erschüttert, auf der Insel Ramri erfolgte die Eruption eines Vulcans. Weiter südlich wird das Erdbeben von Mergui-Archipel als leicht berichtet, es erreichte Rangun und Mulmein, ob auch Tenasserim, bleibt zweifelhaft. Von der Insel Kisseraing, nahe bei Tenasserim, mel-

Digitized by Google

det Major Rogers, der gerade auf der trigonometrischen Station ein ungefähr 15 engl. Meilen entferntes Signal beobachtete, dass er das Erdbeben sah, bevor er es fühlte, indem der Heliotrop zu steigen und zu fallen schien. Obgleich die Libellen des Instruments stark ins Schwanken geriethen, war die Erschütterung für den Beobachter kaum fühlbar. Im S. wird das Erdbeben als „heftig" von Atschin auf Sumatra berichtet: auf See verspürten es die Schiffe „*Commonwealth*" in 5° 55′ N. Br. und 92° 49′ E. Lg. und „*Mount Stuart*" sogar unter 3° 54′ N. Br. und 91° 21′ E. Lg. Über Ceylon giengen die Erdwellen westlich bis Ootacamund und Calicut. Aus der beifolgenden Kartenskizze, einer Copie der von Oldham veröffentlichten, ersieht man, dass das Schüttergebiet eine fast kreisförmige Gestalt hat, dessen Durchmesser von N. nach S. gegen 1600 engl. Meilen, von E. nach W. über 1500 engl. Meilen beträgt, mit einer Oberfläche von 2000000 engl. qM. = 5000000 qkm (s. Tafel V).

Eigentlicher Schaden wurde nur auf den Andamanen angerichtet, wo in Port Blair die Mauern der Militärkaserne Risse zeigten, und auf Kar Nikobar unter den Cocosnusswäldern und den Hütten der Eingebornen. Gerade auf der Höhe von Kar Nikobar fühlte auch der Capitän von „*Commonwealth*" noch am 1. Jan. 1882 drei Erdbebenstösse, und zwar in 8° 20′ N. Br. und 92° 42′ E. Lg.

Zur Fixirung der übrigen seismischen Elemente benutzt Oldham folgende Zeitbestimmungen.

Das Gezeitendiagramm der Station Port Blair zeigt das Eintreffen der Erdbebenwelle um $7^h\,44^m$ a. m. an, dasjenige der Station False Point um $7^h\,54^m$. In Calcutta konnte die Dauer ganz genau auf 4 Min. 15 Sec. bestimmt werden, nämlich von $7^h\,37^m\,45^s$ bis $7^h\,42^m\,0^s$ Calcutta m. Z., oder $7^h\,55^m\,2^s$ bis $7^h\,59^m\,17^s$ Port Blair m. Z. In Madras blieb die elektrische Uhr des astronomischen Observatoriums um $7^h\,5^m\,45^s$ O. Z. stehen oder $7^h\,55^m\,36^s$ Port Blair m. Z. Die Angabe des Majors Rogers, in Kisseraing sei von ihm als Zeitpunkt $7^h\,55^m$ a. m. notirt, ist, weil zu wenig genau, ausser Acht gelassen.

Mit Hilfe der ersten und dritten geometrischen Methode, die J. Milne zur Bestimmung des Epicentrums aufstellt, findet Oldham für letzteres, wenn er die Zeitangaben für Calcutta, Madras und Port Blair benutzt, eine Stelle, die auf der Karte mit CMB bezeichnet ist, ungefähr in 14° 20′ N. Br. und 89° E. Lg.; unter

Digitized by Google

Anwendung derjenigen von False Point, Madras und Port Blair würde das Epicentrum in 13° 0′ N. Br. und 88° 40′ E. Lg. fallen, dagegen mit alleiniger Benutzung der zuverlässigsten Angaben von Calcutta und Madras in 15° N. Br. und 89° E. Lg. Aus den Entfernungen von diesem Punkte nach den genannten Stationen und der entsprechenden Zeitdifferenz berechnet sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erdwelle zwischen Port Blair und

Calcutta auf . . . . 1957 engl. F. in der Secunde
Madras auf . . . . . 1948 „ „ „ „ „
False Point auf . . . 1807 „ „ „ „ „

Die geringe Geschwindigkeit zwischen Port Blair und False Point rührt von dem Umstande her, dass die Zeit nur auf Minuten genau angegeben ist. Als mittlere Oberflächengeschwindigkeit nimmt Oldham 1950 engl. F. = 594 m. in der Secunde an.

Mehrere Thatsachen legten von vornherein die Annahme nahe, dass das Erdbeben vom 31. Dec. 1881 ein centrales sei; vor allem liess die Gestalt des erschütterten Gebietes und die mächtige Fluthbewegung des Meeres darauf schliessen.

Ähnlich mögen die Verhältnisse liegen bei dem submarinen Erdbeben vom 13. Dec. 1858 in der Molukkenstrasse, das mit dem Vulcan von Ternate vielleicht in Verbindung stand. Wenn aber vom Capt. z. S. Cornelissen vom Dampfer „*Suriname*“ die Oberfläche des vom Seebeben afficirten Gebiets auf ca. 4000 g. QM. geschätzt wird, so ist dabei zu bedenken, dass darunter nur diejenige Fläche zu verstehen ist, über welche sich die Fluthwelle ausbreitete, die auch als „zeebeving“ bezeichnet wird.

Ein möglicherweise centrales Seebeben war auch das vom 18. Nov. 1865 im westlichen Süd-Pacific. Um $4^h\ 20^m$ a. m. fuhr nämlich das englische Missionsschiff „*John Wesley*“ bei der kleinen Insel Tau oder Manua, Samoa-Inseln, 14° 19′ S. Br. und 169° 28′ W. Lg., auf ein Korallenriff und sass nach mehreren Stössen fest. Das Meer brandete mit solcher Gewalt, dass die Wogen über das Verdeck giengen. Da erzitterte um $5^h\ 40^m$ a. m. die Erde gewaltig, die Wellen wurden noch schrecklicher. 20 Min. später ertönte ein schreckliches Krachen durch das Fahrzeug, das sich sofort mit Wasser füllte und auf 3 Fuss Tiefe kenterte. Indessen Mannschaft und alle Reisenden wurden gerettet. Das Erdbeben war ziemlich heftig auf Vavau und Lifuka, Tonga-Inseln, und pflanzte sich weit in WSW.-Richtung von den Tonga-Inseln fort; denn um 6^h a. m. verspürte Capt. Morse vom amerikanischen

Digitized by Google

Schiff „*Syrene*“ in 24° S. Br. und 173° 30′ W. Lg. eine Art Vibration, begleitet von betäubendem Geräusch. Die Entfernung des Schiffes von der Insel Tau betrug 624 Sm. Die Fluthwelle wurde auf Rarotonga, Hervey- oder Cook-Inseln, wie im Tonga-Archipel bemerkt.

Es mag hier am Schlusse des ersten Abschnittes der Ort sein noch eines Punktes zu erwähnen, der weniger ein wissenschaftliches, als ein praktisches Interesse bietet.

Nach dem Bericht einer Liverpooler Zeitung entdeckte das Schiff „*Zaragossa*“ im Sept. 1879 auf der Heimfahrt von Baltimore, V. St., ein Riff oder eine Untiefe mitten im Atlantic, in 40° 20′ N. Br. und 36° 49′ W. Lg., auf dem ein grosser Ostindienfahrer gestrandet lag. Die Masten und Raaen waren unversehrt, Segel gerefft, keine Spur von einem Boot, aber Anzeichen davon, dass sie herabgelassen waren. Keiner von allen an Bord des Dampfers hegte im mindesten Zweifel, dass das Schiff verlassen sei und in ca. 13 F. Tiefe auf einem Riff fest liege, obgleich man keinen Versuch gemacht hatte, sich dem Wrack zu nähern und dessen Lage genauer zu untersuchen.

Auf diesen ganz ungenügenden Bericht hin wird im Nautical Magazine, 1885, S. 103 gegen das Verfahren der englischen Admiralität protestirt, welche in den neuesten Seekarten alle früher gesichteten oder angeblich gelotheten Untiefen beseitigte, so dass mit Ausnahme der bekannten Inseln, wie Bermudas, Azoren u. s. w., keine einzige verzeichnet ist. Da die von „*Zaragossa*“ gemeldete Untiefe in gleicher Breite mit zwei anderen liegt, die auf älteren Karten ein wenig weiter E. als „Gough's Rocks“ angegeben waren, so wird erstere auf vulcanischen Ursprung zurückgeführt, zumal da dieselbe in der Nähe des Theiles der Azoren liegt, in welchem wenige Jahre vorher eine Insel aufgeworfen war. Zur Stütze der Annahme einer recenten Thätigkeit submariner Vulcane werden von der Liv. Zeitung zwei Fälle angeführt, von denen der eine das vom amerikanischen Schiffe „*Gettysburg*“ entdeckte Korallenriff betrifft, während es sich in dem des Schiffes „*Sea Serpent*“ unzweifelhaft um ein Seebeben handelt.

Ohne auf die Frage nach einer etwa möglichen Bildung von Untiefen in der Tiefsee einzugehen, wollen wir nur den Bericht von „*Sea Serpent*“ mittheilen. Capt. Whitmore meldet, dass die Bark am 30. Dec. 1859 11^{h} p. m. in der Nähe vom St. Paul's-Felsen aufstiess, wodurch sie bedeutend im Gange verlor; die

Digitized by Google

Bark schleppte sich in ihrer ganzen Länge über das Riff hin. Brandung war nicht zu sehen, auch fand man mit dem Loth keinen Grund. Zunahme von Wasser im Raum nach dem Peilholz nicht bemerkbar. 3h a. m. heisst es jedoch: „Alle 2 Stunden wird das Wasser aus dem Raum gepumpt, der Leck vermehrt sich seit der Zeit, wo wir auf das Riff stiessen." Das Schiff musste schliesslich in Rio einlaufen, wo man Kiel und Kupfer beschädigt fand. Die Annahme, dass diese Beschädigung wie die Zunahme des Lecks durch eine Klippe verursacht sei, ist für die fragliche Gegend völlig ausgeschlossen, trotzdem bleibt die Thatsache bestehen, dass das Wasser im Raum sich vermehrte, die auch von DES ESSARTS zugegeben wird, dem zufolge der Stoss stark genug war, um in den Raum von „*La Néréide*", der noch 2 Stunden vorher leer gewesen war, 0,45 m Wasser zu bringen. Andererseits ist aber zu beachten, dass derartige Unfälle in Verbindung mit Seebeben doch nur selten erwähnt werden, dass im Gegentheil häufig ausdrücklich betont wird, das Schiff sei auch nach dem Stoss dicht geblieben. Wasser habe sich an den Pumpen nicht gezeigt. Die Erklärung ist dadurch gegeben, dass in den beiden Fällen das Schiff vorher schon leck war, wie daraus zur Genüge hervorgeht, dass Capt. WHITMORE vor dem Seebeben in seinem Journal bemerkt, das Wasser sei zur gewöhnlichen Zeit aus dem Raum gepumpt, und DES ESSARTS, das Schiff habe schon einmal nach einem Sturm so viel Wasser gehabt. Ist eine Spalte im Schiffsboden einmal vorhanden, so ist es sehr wohl denkbar, dass die Gewalt des Stosses es allerdings vermöge, Wasser hindurchzudrängen und wohl gar dieselbe zu erweitern.

II.

In zweiter Linie stellten wir uns die Aufgabe, auf Grund der im ersten Abschnitt gewonnenen Resultate die in mancher Hinsicht sicherlich überraschenden Thatsachen, mit denen wir bekannt geworden sind, auf ihre Ursache zurückzuführen. Bevor wir jedoch in eine theoretische Untersuchung eintreten und es versuchen, eine Theorie der submarinen Erdbeben zu entwickeln, müssen wir die bisherigen Ansichten über die Entstehung der sogenannten Erdbebenfluthwellen einer kritischen Betrachtung unterziehen und zusehen, wie weit dieselben oder ob sie überhaupt mit den Beobachtungen in Einklang stehen. Die Widerlegung derselben wird uns um so leichter, als es Hypothesen und Vermuthungen sind, die vor

Digitized by Google

allem ohne Kenntniss der hier zuerst dargelegten Facten aufgestellt wurden, sich auf unbegründete und unerwiesene Annahmen stützen, die vor dem thatsächlich Beobachteten nicht Stand zu halten vermögen, und theilweise sogar mit physikalischen Gesetzen im Widerspruch stehen.

Die Erscheinungen, welche sich beim Herannahen solcher Wellen gegen die Festländer an der Küste offenbaren, die mannigfach variirende Art ihres Auftretens und die Wirkungen auf die Küstenländer können als bekannt vorausgesetzt werden, es genüge auf die ausführlichen Berichte zu verweisen, welche über derartige Katastrophen erschienen sind und in der Einleitung bereits aufgezählt wurden.

Je nach dem theoretischen Standpunkt, welchen man in Bezug auf die Ursachen der Erdbeben einnimmt, sehen die einen den Entstehungsgrund der Wellen in einer Niveauschwankung der Küste und des ihr zunächst liegenden Meeresgrundes, die andern in der instantanen und heftigen Hebung oder Senkung einer Stelle des Meeresbodens allein, die Anhänger Mohr's glauben wie die Erdbeben überhaupt, so auch die Fluthwellen durch den Einsturz grösserer Flächen des Meeresbodens in tiefer gelegene Hohlräume der Erdkruste erklären zu können, während einige Forscher dieselben aus dem Erdstosse herleiten wollen. F. v. Hochstetter, E. Geinitz und v. Sonklar, die wir als Vertreter der letztgenannten Hypothese ansehen können, sind übereinstimmend der Meinung, dass ein „genügend kräftiger Stoss", wie Geinitz sich ausdrückt, eine Gleichgewichtsstörung der oceanischen Wassermasse hervorrufen müsse, die sich in einer sogenannten „Hubwelle oder forcirten positiven Welle" zu erkennen gebe und in concentrischen Ringwellen allseitig fortpflanze. v. Sonklar fasst seine Ansicht folgendermaassen zusammen: „Wird durch ein starkes Erdbeben, gleichviel ob dessen Centrum nahe der Küste oder von derselben entfernt, immer aber im Bereiche des Meeres liegt, der Boden des letzteren heftig erschüttert, so wird der Gleichgewichtszustand der Wassermasse plötzlich und je nach der Stärke der Erschütterung nicht selten in einem Grade gestört, der für die Küsten von den zerstörendsten Folgen begleitet ist. Das Meer geräth dabei in eine heftige oscillirende Bewegung, die alle Tiefen desselben ergreift, sich durch eine der gewöhnlichen Fluth ziemlich nahe kommende Geschwindigkeit der Fortpflanzung sowie durch eine radienförmige Ausbreitung nach allen Richtungen bis zu den entferntesten

Digitized by Google

Gestaden des betroffenen Meeres auszeichnet" (v. Sonklar, Von den Überschwemmungen, Wien 1883). Der Vergleich, welchen v. Hochstetter mit den Wellenbewegungen zieht, die in einem vollkommen feststehenden Gefäss mit Wasser durch einen Stoss erzeugt werden, ist durchaus unzutreffend. Denn diese Wellen bilden sich dadurch, dass der Stoss von allen Punkten des Randes des Gefässes dem Wasser fast gleichzeitig mitgetheilt wird, wodurch eine ringförmige Welle hervorgerufen wird, die auf einen immer mehr sich verengenden Raum beschränkt, schliesslich in einem Punkt sich vereinigt; eine Erschütterung der ziemlich geradlinig verlaufenden Westküste von Südamerika von Arica an und auch des zunächst liegenden Meeresgrundes kann aber nie eine solche auf einen Punkt zusammenlaufende Welle hervorrufen, besonders wenn, wie v. Hochstetter selber annimmt, die Richtung des Stosses nahezu senkrecht vom Meeresgrunde gegen die Oberfläche gerichtet ist. Ein zutreffenderes Bild jener Erscheinung im Kleinen bieten eher, wie v. Sonklar, J. Milne u. a. hervorheben, jene Ringwellen, welche in einem kleinen See durch einen auf die ruhige Wasserfläche geworfenen Stein erzeugt werden.

Was nun den von Geinitz verlangten kurzen, genügend kräftigen Stoss betrifft, welcher die Hubwelle vom Flecke weg erregen soll, so bedarf es nur des Hinweises auf die im ersten Abschnitt mitgetheilten Beispiele von gewiss „genügend kräftigen" verticalen submarinen Erdbebenstössen, bei denen das Meer völlig ruhig blieb, um die Unhaltbarkeit einer solchen Annahme darzuthun. Tritt dann noch der Fall ein, dass sogar im Gefolge eines schwachen Seebebens eine mächtige Fluthbewegung des Wassers sich kund giebt, wie wir einen solchen weiter unten kennen lernen werden, so wird man die eben besprochene Hypothese ein für allemal aufgeben müssen.

Der Anwendung von Mohr's neptunistischer Erdbebenhypothese auf die Seebeben stehen die gewichtigsten Bedenken entgegen, ganz abgesehen von den Einwänden, welche gegen die Hypothese an und für sich erhoben sind. Wollte man wie alle Erdbeben, so auch die Seebeben als durch eine partielle Senkung des Meeresbodens verursacht ansprechen, wie es G. Rachel (Gäa, Bd. 17, S. 361) thut, so müsste folgerecht jedes submarine Erdbeben von einer Fluthwelle begleitet sein. Das widerspricht aber den Thatsachen ebenso wie die Forderung, welche man nach dieser Hypothese hinsichtlich der Bildung der Welle stellen muss. Man

Digitized by Google

dachte sich, die Senkung einer bestimmten Fläche des Meeresbodens müsse ein Zusammenströmen der Gewässer nach diesem Punkte zur Folge haben, wodurch sich eine Welle bilden würde, die sowohl das Zurückweichen des Meeres von der Küste als auch das Hereinbrechen der Fluthwelle gegen die Küste erklären sollte. v. Sonklar billigt auch diese Ansicht und stellt sich die Bildung der Welle in folgender Weise vor: „Hat irgendwo eine Senkung stattgefunden, so wird das Meer von allen Seiten der gesunkenen Stelle zuströmen und wird sich dadurch ein ungeheurer Wellenberg bilden müssen, der jedoch alsbald das Geschäft der Niveau-Ausgleichung beginnt und in Ringwellen nach allen Seiten abfliessen wird. Im anderen Falle wird durch den Stoss nach oben dieser Wellenberg vom Flecke weg zur Entstehung kommen und so lange dauern, als der Stoss dauert. Da aber diese locale Niveau-Änderung und Volumenvermehrung des Meeres nur dadurch entstehen kann, dass den im Kreise herum nächstgelegenen Gegenden des Meeres Wasser entzogen wird, so wird auch hier auf kurze Zeit ein Zug des Wassers von allen Seiten gegen den Wellenberg eintreten müssen. Da nun in beiden Fällen in Folge der Erschütterung und wegen der Unebenheiten des Meeresgrundes dieses anfängliche Strömen des Meeres in Ringwellen geschehen muss, so wird an der Küste diese erste Schwingung des Wassers *hier* mit einer Hebung, *dort* mit einem Sinken des Meeresspiegels beginnen, je nachdem ein gegebener Küstenpunkt mehr im Bereiche des Scheitels oder mehr in dem des Thales jener *ersten* Welle liegt." Demnach hält es v. Sonklar für begreiflich, dass bei grösserer Nähe des Erschütterungscentrums auch das Maass dieser der eigentlichen Erdbebenfluth vorangehenden Bewegung des Meeres, d. h. Steigen oder Fallen des Niveau's, grösser sein wird und dass sich dieselbe an sehr entfernten Küsten nicht mehr fühlbar machen kann.

Man könnte der Meinung sein, dass die jüngsten Ereignisse in der Sundastrasse, wo der Ausbruch des Krakatau von einer regelrechten derartigen Welle begleitet war, eine erwünschte Bestätigung der Einsturzhypothese böten. Allein die Verhältnisse liegen hier doch wesentlich anders. Nach Verbeek's Ansicht (Krakatau, Batavia 1885, S. 381) war durch die fortwährende eruptive Thätigkeit des Jahres 1883 der submarine Kraterboden so erweicht, dass er die Last der eigentlichen Insel nicht mehr zu tragen vermochte. Bevor der Einsturz jedoch eintrat, scheint Meerwasser Zutritt zur Lava gefunden zu haben, wenn nicht gar beide Ereignisse gleichzeitig

Digitized by Google

vor sich giengen. Verbeek hält es für zweifellos, dass die grösste Welle ungefähr zu gleicher Zeit mit der heftigsten Explosion entstand, durch welche auch die grosse atmosphärische Welle sich bildete. Durch eine sorgfältige Zusammenstellung und Berechnung aller auf die grosse Fluthbewegung bezüglichen Angaben kommt Verbeek zu dem Resultat, dass der Einsturz des nördlichen Theiles von Krakatau fast gleichzeitig mit der Explosion stattfand, nämlich $10^h\ 00^m$ a. m., während sich für die Bildung der grossen atmosphärischen Welle als wahrscheinlicher Augenblick $10^h\ 2^m$ a. m. Kr. Z. ergiebt.

Die Reihenfolge der Ereignisse, welche die letzte Eruption ausmachen, stellt sich Verbeek (a. a. O., S. 389) folgendermaassen vor: Zusammenbrechen der Wände des Kraters, die in Folge des Einschmelzens an der Innenseite zu schwach geworden waren; Eindringen des Meerwassers in die Lavasäule des Kraterraumes und Einsturz eines Theiles von Krakatau in diese Wassermasse $10^h\ 00^m$ a. m. Kr. Z. Unmittelbar darauf Auswurf der geschmolzenen Massen mit dem darüber befindlichen Wasser, so dass das Maximum des in Folge dieser Explosion entstandenen Luftdrucks in beträchtlicher Höhe über dem Krater bereits $10^h\ 2^m$ a. m. Kr. Z. erreicht ward; Zurücksinken der übrigbleibenden Lava in den Krater. Die Ursache der grossen Welle sucht Verbeek zwar nicht in dem Auswurf der Lavamasse, noch weniger in dem Niederfallen der emporgeschleuderten Stoffe in die See, sondern allein in dem Einsturz des nördlichen Theiles des Berges, dessen Masse mindestens 1 km^3 betrug; indessen muss, wie aus der ganzen Darstellung hervorgeht, auch die gewaltige Explosion, welche die eingedrungenen Wassermassen wieder emporschleuderte bei der Bildung der mächtigen Wellenbewegung in gleicher Weise betheiligt gewesen sein.

Sehen wir nun zu, ob wenigstens die zweite der beiden oben gestellten Forderungen für die Krakatauwelle zutrifft. Mag die erste grosse Welle durch den Einsturz der Gewässer in den Kraterraum oder durch die Eruption vom Flecke weg gebildet sein, in jedem Falle müsste ein Zuströmen des Wassers zu dem Wellenberg hin, gleichsam ein Aufsaugen des Wassers durch denselben sich bemerkbar gemacht haben, und das um so mehr als die Welle, nach den Folgen zu urtheilen, zu den grossartigsten gehört, die wir kennen gelernt haben.

Über die Bewegungen der See bei den Eruptionen des Kra-

Digitized by Google

katau im Mai 1883 finden sich nur zwei Berichte. Nach dem ersten bemerkte Capt. Lourens vom „*Samarang*“ am 20. Mai schwere Dünung aus NNE. und NW. Diese Richtung sowie der Umstand, dass der selbstregistrirende Pegel zu Tandjong Priok nichts Besonderes angiebt, lassen darauf schliessen, dass diese Erregung der See mit der Eruption nichts zu thun hat. Im zweiten Bericht vom „*Blintang*“ heisst es, dass auf der Reede von Blinjoe, Insel Banka, in der Nacht vom 31. Mai auf 1. Juni plötzlich durch eine ungewöhnliche Bewegung im Wasser das Ruder gegen das Schiff schlug. Die Nachricht steht ganz allein da, aus der Umgegend von Blinjoe ist kein Erd- oder Seebeben bekannt geworden, so dass eine Beziehung zur Eruption unwahrscheinlich ist (Verbeek, a. a. O., S. 23, 24).

Während der Ausbrüche des Krakatau vom 26.—28. August 1883 befanden sich 10 Schiffe theils in der Sundastrasse selbst oder in der Nähe derselben.

Die amerikanische Bark „*W. H. Besse*“, Capt. Baker, stand am 27. August $9^h\ 30^m$ a. m. zwischen Krakatau und Anjer, SE. von der Insel Sebesi. Wegen der durch die Eruption von Sand und Asche hervorgerufenen Dunkelheit beschloss der Capitän vor Anker zu gehen. Das Wasser war in fürchterlicher Aufregung, es schäumte und kochte.

Das englische Schiff „*Charles Bal*“, Capt. W. J. Watson, fuhr zur Zeit der grossen Eruption am 26. und 27. August gerade durch die Sundastrasse. Am 26. August stand das Schiff um 11^h p. m. 11 Sm. E. von Krakatau, passirte dann Java's vierten Punkt um 8^h a. m. am 27. August und Anjer $8^h\ 30^m$. Während der heftigsten Explosion des Krakatau wurde um $10^h\ 15^m$ a. m. an Toppershoedje vorbeigefahren. $11^h\ 15^m$ (irrthümlich für $10^h\ 15^m$) hörte man einen schrecklichen Knall, und gleich darauf sah Capt. Watson eine Welle gerade auf Toppershoedje auflaufen. Dieser ersten folgten noch zwei andere, an Bord wurde von allen wegen ihrer grossen Länge nichts gespürt.

„*Berbice*“, Capt. Logan, befand sich am 26. August 2^h p. m. noch 20 Sm. S. von Vlakken Hoek und segelte am 27. August durch die Sundastrasse. Von der grossen Welle, die um 10^h a. m. entstand, ist an Bord des Schiffes nichts bemerkt worden.

„*Loudon*“, Capt. Lindemann, fuhr am 26. Aug. von Batavia über Anjer, Dwars in den Weg und Varkenshoek in die Lampong Bai nach Teloeq Betoeng. Um 7^h a. m. des folgenden Tages sah

Digitized by Google

man hier vier hohe Wellen auf den Strand auflaufen. Bald darauf steuerte der Capitän von der Reede weg, um der Gefahr des Strandens zu entgehen und die Nachricht von der Verwüstung von Teloeq Betoeng nach Anjer zu bringen. Der zunehmende Aschen- und Bimssteinregen zwang ihn jedoch um 10^h a. m. auf 15 Faden Wasser vor Anker zu gehen. Sehr hohe See warf das Schiff hin und her und brachte es in Gefahr zu kentern (Verbeek, a. a. O., S. 69—76).

Es sind nur diejenigen Schiffe ausgewählt, welche zur Zeit der Katastrophe sich in der Nähe von Krakatau befanden und denen eine strömende Bewegung der See nach dem Eruptionscentrum hin auf keinen Fall hätte entgehen können. Bezeichnend für die Verhältnisse ist die Thatsache, dass Capt. Watson die aufeinanderfolgenden Wellen sehr wohl sah, von einem vorhergehenden Strömen aber nach der Einbruchsstelle hin nichts bemerkte. Das ist zugleich der entscheidende Punkt, den wir der ganzen Hypothese entgegenstellen: In keinem der durchaus zuverlässigen Schiffsberichte über die zugleich mit dem Seebeben sich erhebenden Wellen ist von einem von allen Seiten nach einem Centrum zuströmenden Wasser die Rede. Überhaupt ist die Vorstellung, es erhebe sich ein Wellenberg, der durch Niederfallen die Wassermasse in eine oscillirende Bewegung versetze, nur eine Voraussetzung, für die wir in unseren Berichten keinen thatsächlichen Anhalt entdecken können, alle sprechen im Gegentheil von Wellen, die nach allen Richtungen hin über eine grössere Fläche emporsteigen, ein Beweis wieder dafür, dass weder ein „kurzer Erdstoss", noch ein doch immerhin örtlich nur beschränkter „Einsturz" die Ursache der Fluthwellen sein kann.

Es macht keinen grossen Unterschied aus, wenn man an Stelle des Einsturzes Niveauschwankungen des Meeresbodens voraussetzt; eine steigende Bewegung einer Scholle am Boden des Oceans soll nämlich in gleicher Weise einen Zug des Wassers von allen Seiten gegen den Wellenberg verursachen, der durch die bis jetzt bekannten Beobachtungen sich leider noch nicht nachweisen lässt.

Pilar macht die mechanischen Äusserungen der Erd- und Seebeben hauptsächlich von der hebenden und senkenden Bewegung der von ihm supponirten Keilschollen abhängig (Abyssodynamik, S. 135). „Das Zurückziehen des Meeres", heisst es S. 134, „erklärt sich einfach durch die momentane Bewegung der Senkscholle, in Folge deren zuerst ein allseitiger Wasserzufluss zum Depressions-

Digitized by Google

gebiete stattfindet, also auch von der Küste her, worauf das gestörte Gleichgewicht des Oceans durch Fluthwellen ausgeglichen wird.“ Durch ein Variiren der Lage der Senkscholle zur Küste glaubt Pilar auch den Fall erklären zu können, wo das Meer gleich in Gestalt einer grossen Welle sich auf das Ufer wirft. Dabei ist nicht bedacht, dass jenes Zurückziehen des Meeres doch nur durch das dem hohen Wellenberge entsprechend tiefe Thal gebildet wird, wie denn überhaupt die Art der Wasserbewegung an der Küste ganz allein von der jeweiligen Schwingungsphase abhängig ist, mit welcher die grosse Welle an das Festland herantritt. Um consequent zu sein, muss Pilar annehmen, dass auch eine Hubscholle am Boden des Oceans in Bewegung gerathen und, wie wir seiner Theorie nach berechtigt sind hinzuzufügen, ebenfalls eine Hubwelle erzeugen könne. Von diesen grossen Undulationen des Oceans werden nun die kleinen Oscillationen unterschieden, welche durch ihre Raschheit Schiffe entmasten und lose Gegenstände auf denselben in die Höhe werfen können. Wenn aber diese submarinen Erdstösse durch „wiederholte Hemmung der steigenden und senkenden Bewegung der Schollen“ entstehen sollen, so begeht Pilar denselben Fehler, welchen wir soeben an den Vertretern der Einsturztheorie rügen mussten: Diese Bewegung ist es ja gerade, die den Zufluss bedingen soll, es müsste demnach jedes Mal je nach dem Maass der Hebung oder Senkung eine grössere oder geringere Undulation der oceanischen Wassermasse mit dem Seebeben verknüpft sein, was den Thatsachen widerspricht. Pilar sowohl wie Graf Berg, welch' letzterer sogar nur einer Niveauveränderung der Küste und des ihr zunächstliegenden Meeresgrundes zur Erklärung des Fluthphänomens bedarf und dementsprechend auch nichts von einer wellenförmigen Bewegung des Wassers wissen will, sondern nur ein Hin- und Herströmen gelten lässt, berufen sich beide zum Beweise für die Richtigkeit ihrer Erklärungsweise auf die von Darwin an der Westküste von Südamerika angeblich nachgewiesene Hebung, ersterer ausserdem noch auf die vermeintliche Hebung des „Ullah-Bund“ und einer Küstenstrecke von Neu-Seeland beim Erdbeben vom 23. Jan. 1855. Nach der Widerlegung, welche die beiden erstgenannten Fälle erst kürzlich durch Suess und schon früher durch Bischof erfahren haben, ist diese Stütze hinfällig geworden. Man könnte sich versucht fühlen, ein Factum, auf welches im ersten Abschnitt hingewiesen wurde, gegen uns zu Gunsten der Hypothesen über die Entstehung

Digitized by Google

der Fluthwellen durch eine Niveauschwankung des Meeresbodens zu verwerthen, nämlich das Emporheben des Schiffes oder auch das Einsinken desselben, wie es bei einigen Seebeben beobachtet worden ist. Daraus aber auf ein Heben oder Sinken des Bodens schliessen zu wollen, wäre sehr verkehrt, denn nur der Schiffskörper war es, der die Bewegung erfuhr, die Wasserfläche blieb, wie ausdrücklich in einigen Fällen betont wurde, ganz unverändert.

Eine befriedigende, mit den Facten allseitig übereinstimmende Erklärung ist also noch nicht und konnte auch nicht geliefert werden. Nur in einem Punkte, der oben schon angedeutet wurde, müssen wir Geinitz Recht geben, dass nämlich die Art, wie die Fluthwelle gegen das Festland herantrete, ob in Form einer ersten Erhebung oder Senkung des Meeresspiegels, als Ab- oder Zufliessen des Wassers, in Form ruhigen, allmähligen Steigens oder stürmischen Wogens, eine secundäre Erscheinung sei, abhängig von der jedesmaligen Schwingungsphase der Welle und, wie wir hinzufügen müssen, von Interferenzerscheinungen. Damit ist zugleich die Erklärung, welche E. Kluge in einem Aufsatz: „Über die Bewegungen in Gewässern bei Erdbeben und eine mögliche Ursache gewisser Erderschütterungen“ (Jahrb. f. Mineral. 1861, S. 777) für die vielfach wechselnde Art des Auftretens der Wellen gegeben hat, abgethan. Derselbe glaubt nämlich, die lange Dauer des Rückzugs des Wassers bei manchen Erdbeben, die Erscheinung, dass das Meer nicht plötzlich wiederkehre, sondern erst nach und nach sein früheres Niveau wieder einnehme, die oft lange Dauer eines höheren Wasserstandes oder die Erscheinung, dass die Welle vor dem Erdbeben hereinbreche u. a., sei die Wirkung der Elektricität oder einer uns unbekannten kosmischen Kraft.

Dagegen hat Graf Berg in seiner Controverse mit Geinitz auf einen Punkt hingewiesen, der gegen die von letzterem vertretene Theorie spricht und Beachtung verdient. In Folge eines Stosses entsteht im Wasser eine Reihe von oscillirenden Wellen, die von demselben Punkte ausgehend in regelmässigen Intervallen und in abnehmender Grösse auf einander folgen. Die beiden letzten Bedingungen treffen nun aber bei Erdbeben für die Wellen des Meeres nicht immer zu, denn bald sind die Zwischenräume von sehr verschiedener Dauer, bald gehen kleinere Wellen voran und folgen grössere oft erst nach geraumer Zeit. Graf Berg konnte deshalb ganz mit Recht behaupten, dass die nach einem Erdbeben an Küsten beobachteten Wellen nicht in Folge eines Stosses entstan-

Digitized by Google

den seien (Gäa, 18, 1882, S. 265). Wenn derselbe ferner aber noch in Abrede stellt, dass es Ringwellen seien, weil es keine oscillirenden Wellen wären, so war er seiner Erklärungsweise des ganzen Phänomens gemäss allerdings bis zu einem gewissen Grade dazu berechtigt, so lange sich die concentrische Art der Ausbreitung nicht stricte nachweisen liess. Mit vollem Recht erwartete daher G. Rachel ganz allein von den Aufzeichnungen der selbstregistrirenden Fluthmesser eine Aufklärung über den strittigen Punkt. Es ist zu verwundern, dass den genannten Forschern die Analyse, welche H. Schmick (Das Fluthphänomen, Leipzig 1879, S. 20 u. f.) von der Erdbebenfluth gab, welche das Erdbeben von Arica am 13. August 1868 begleitete, nicht bekannt war. Schmick fand aus einer genauen Betrachtung der Curven des Fluthmessers in Sydney, NSWales, dass die Annahme, das Meer sei bloss vom amerikanischen Ufer aus gestört, unhaltbar sei, dass vielmehr direct vom Epicentrum aus eine erste Reihe von Wellen, von denen erst die vierte die höchste war, über den Pacific eilte, welcher nach Verlauf einer ganz bestimmten Zeit eine zweite, vom amerikanischen Ufer reflectirte, gleiche Anzahl von Wellen von gleicher Eigenthümlichkeit folgte.

Ein ähnliches Diagramm besitzen wir von den Wellen, die am 9. Mai 1877 von der Westküste Südamerika's ausgiengen und am folgenden Tage in San Francisco eintrafen, wo sie vom Gezeitenmesser bei Fort Point verzeichnet wurden (Trans. Seism. Soc. Jap. II, 1880). Indessen ist der regelmässige Verlauf der Curven durch zahlreiche reflectirte Wellen so gestört, dass das Diagramm für unseren Zweck ganz unbrauchbar ist. Überdies ist es sehr leicht denkbar, dass die Wellen auf dem weiten Wege selber durch Hindernisse, die ihnen entgegentraten, Störungen erlitten, die den ursprünglichen Charakter derselben verwischten. Von der erschütterten Küste, gegen welche die Wogen zuerst anprallten, besitzen wir leider noch gar keine Aufzeichnungen; um so erwünschter müssen uns die Diagramme sein, welche die Fluthmesser der indischen Gezeitenstationen von den Wellen lieferten, die durch den submarinen Ausbruch im Meerbusen von Bengalen am 31. Dec. 1881 veranlasst wurden. Hier können wir erwarten, ein wahres und klares Bild dessen zu erhalten, was wirklich an der Meeresfläche der Bai vor sich gieng, hier allein eine Antwort auf all' die Fragen, die oben berührt wurden.

Die Küsten der Bai sind ringsherum in W., N. und E. mit

Digitized by Google

einer Reihe von Fluthmessern besetzt, die, im W. anfangend, an folgenden Punkten aufgestellt sind (siehe Taf. V):

Paumben an der Palkstrasse.
Negapatam, Madras } Coromandelküste.
Vizagapatam.
False Point.
Dablat am Südende der Saugor-Insel.
Diamond Harbour, 38 Miles aufwärts am Hugly.
Rangun, Elephant Point } Mündung des Irawday.
Maulmein an der Mündung des Saluen.
Amherst am Golf von Martaban.
Kisseraing im Mergui-Archipel.
Dazu ist noch Port Blair auf den Andamanen zu rechnen.

Von diesen zeigen die letzten fünf Küstenstationen keine Störung ihrer Fluthcurven, wahrscheinlich weil die ganze Macht der Wogen an den Inseln, Riffen und Untiefen sich brach, die sich von Cap Negrais bis Sumatra hinziehen und welche alle hoch umbrandet waren, so dass die Wellen in der Tiefsee jenseits der Inselreihe und in dem flachen Wasser vor der Mündung des Irawady bald erstarben. An den übrigen sieben Stationen ist die Fluthwelle als eine mehr oder minder grosse Störung der gewöhnlichen Fluthcurve kenntlich. Zum Zwecke des Vergleichs sind die Stundenlinien der graphischen Darstellung (s. Tafel VI) auf Port Blair m. O. Z. bezogen. Von den Diagrammen ist dasjenige von Port Blair unvollständig und gerade in der Mitte unterbrochen. Die Aufregung der Seefläche war hier nämlich so gross, dass der Stift des Instruments im Laufe von wenigen Minuten eine Strecke oscillirte, die fast der ganzen halbtäglichen Oscillation gleichkam, und schliesslich das Papier des Diagramms zerriss. In Folge dessen wurde die Uhr zum Stehen gebracht und erst nach einigen Stunden, als die Erregung der See sich einigermaassen gelegt hatte, wieder in Gang gesetzt, aber auch dann noch folgten die Wellen einander mit grosser Regelmässigkeit. Bedenken wir nun noch, dass die Erdbebenwelle in Calcutta $7^h\ 55^m\ 2^s$ a. m. Port Blair m. O. Z. eintraf, in Madras $7^h\ 55^m\ 36^s$ a. m., False Point $7^h\ 54^m$ a. m. und Port Blair selber $7^h\ 44^m$ a. m. Die Ankunft der Fluthwelle geschah in der Zeit zwischen $8^h\ 3^m$ a. m. (Port Blair) und $3^h\ 10^m$ p. m. (Diamond Harbour). Oldham giebt (a. a. O., S. 48) folgende Tabelle darüber:

Digitized by Google

Port Blair. Erste Fluthwelle $8^h\ 3^m$ a. m. in einer Höhe von 3 Fuss, vom Berg bis zum Thal gerechnet; in Pausen von 15 Min. folgten ebenso hohe Wellen bis 9^h p. m.

Diamond Harbour. Welle kaum bemerkbar, Ankunft $3^h\ 10^m$ p. m.

Dablat. Erste Welle 1^h p. m. Höhe 12 Zoll. Störung dauerte bis 9^h p. m.

False Point. Erste Welle $11^h\ 15^m$ a. m. Höhe 2 Zoll.

Vizagapatam. „ „ $10^h\ 43^m$ „ „ Störung bis Mitternacht.

Madras. „ „ $10^h\ 18^m$ „ „

Negapatam. Die erste Welle, welche $10^h\ 15^m$ a. m. eintraf, maass 4 Fuss von Berg bis zu Thal, andere folgten bis Mitternacht.

Paumben. Erste Welle $11^h\ 32^m$ a. m. Dauer der Störung bis Mitternacht.

Betrachten wir jetzt die Diagramme selber genauer und vergleichen wir dieselben mit einander, so können wir diejenigen von Diamond Harbour, Dablat und False Point ausser Acht lassen, da die Anzeichen der Wellenbewegung zu gering sind, als dass sich irgend etwas aus ihnen entnehmen liesse. Von den übrigen zeigen Paumben, Madras, besonders aber Vizagapatam eine solche Menge von reflectirten Wellen, dass die primären Fluthwellen stark verwischt werden. Doch ist auch aus ihnen eine Eigenthümlichkeit noch zu erkennen, die besonders stark bei Port Blair und auch bei Negapatam ausgeprägt ist, dass nämlich die einzelnen Wellen in vollkommen gleichen Zeitabständen und anfangs gleicher, später abnehmender Höhe aufeinander folgen: In Madras in einem Intervall von ungefähr 2 St., in Negapatam in einem solchen von etwas mehr als $\frac{1}{2}$ St., in Port Blair in Pausen von 15 Min. Am letzteren Orte lassen sich zwei Reihen von Wellen unterscheiden: Die 1., 3., 5. Welle ist bedeutend kleiner als die 2., 4., 6.; unter sich sind sie aber ganz gleich hoch. Verbindet man die Spitzen der zweiten Wellenreihe, so läuft die Verbindungslinie derselben der absteigenden Normalcurve parallel. Die Wellen tragen also ganz den Charakter von oscillirenden Wellen an sich, die in regelmässigen Intervallen an das Ufer schlugen und von denen die erste zugleich die grösste war. In der ersten Wellenreihe weicht nur die zweite von der Regel etwas ab, indem trotz des sinkenden Meeresspiegels einerseits der Wellenberg die erste

Digitized by Google

Welle dieser Reihe an Höhe etwas überragt, andererseits das darauf folgende Thal nicht einmal die Tiefe des unmittelbar voraufgehenden, zur ersten Welle der zweiten Reihe gehörigen Thales erreicht: die Welle im ganzen ist also kleiner. Diese Unregelmässigkeit sowohl wie der durchgehende Unterschied zwischen den beiden Wellenreihen hängt wahrscheinlich mit der Art und Weise zusammen, wie jede vom Erschütterungsmittelpunkt ausgehende Welle den Hafen von Port Blair erreichte. Da die Wellen mitten im Meerbusen von Bengalen ihren Ursprung hatten, so traf die nach Ost ausgehende Reihe die Westküste der Andamanen, an welcher sich jede Welle theilte. Da Port Blair auf der Ostseite der grössten Insel der Süd-Andamanen liegt, so musste es von einer doppelten Wellenreihe getroffen werden, von welcher die eine durch den engen Canal zwischen der grossen Insel der Mittel-Andamanen und derjenigen der Süd-Andamanen zu laufen hatte, um Port Blair zu erreichen, während die andere um das Südende der Insel herum eintraf. Oldham hält es für wahrscheinlich, dass die erste Welle auf dem zuletzt genannten Wege die Station erreichte, während die folgenden abwechselnd von N. und von S. kamen. Die abweichende Gestalt der zweiten Welle wäre alsdann auf Interferenzerscheinungen zwischen beiden Reihen zurückzuführen.

An allen Stationen traf die Störung zur Zeit der Ebbe ein und beginnt gleichmässig mit einem äusserst schroff ansteigenden Wellenberg ohne vorhergehendes Thal. Dieser unvermittelte Übergang der ganz ruhigen Curve in eine fast senkrecht emporsteigende Linie ist vor allem beachtenswerth. Wir wissen, dass zu Madras im Telegraphenamt die elektrische Uhr stehen blieb, dass in False Point das Gezeitenobservatorium erschüttert wurde und in Port Blair sich das Erdbeben ziemlich deutlich fühlbar machte; trotzdem ist nicht die geringste Veränderung im Verlaufe der Curven bemerkbar, obgleich am letzten Orte nur 19 Min. vergiengen, in False Point über 3 St., bis die erste Welle eine Änderung hervorrief. Die einzige Ausnahme, welche Negapatam macht, rührt von der fehlerhaften Aufstellung des Instruments her, die sich auch in der ganz eigenthümlich gestalteten Normalcurve ausdrückt.

Wenn irgendwo auf Erden, so sind gerade im nördlichen Theil des Meerbusens von Bengalen die Verhältnisse günstig, um eine Prüfung der oben genannten Hypothesen zu gestatten; es würde aber wohl schwerlich Jemand gelingen, aus unseren Dia-

Digitized by Google

grammen ein „Fluthen oder Strömen“ entweder an den Küsten entlang oder von denselben weg, wie es Graf Berg verlangte, herauszudeuten. Ein „allseitiger Zufluss zum Depressionsgebiet“ oder, wie wir auch sagen können, zur eingestürzten Fläche des Meeresgrundes müsste, wenn er hätte wirksam sein sollen, einen andern Einfluss auf die Curven ausgeübt haben. Von allen den Voraussetzungen, die gemacht sind, um die Erscheinung der Erdbebenfluthwellen zu erklären, keine Spur hier! Auch die Annahme, welche Geinitz machte und die noch am wahrscheinlichsten klang, ist nicht länger haltbar. Denn trotz der ungeheuren Ausdehnung des Schüttergebietes war die Intensität des Stosses eine sehr geringe, am grössten noch in der Nachbarschaft des Epicentrums, auf Kar Nikobar, wo die Hütten der Eingebornen und ihre Anpflanzungen umgeworfen wurden, ferner in Port Blair, wo an den Militärkasernen sich einige Sprünge zeigten, während die Erschütserung an der gegenüberliegenden Küste von Birma schon fast nicht mehr merklich war. Oldham spricht sein Bedauern darüber aus, dass der an Gebäuden verursachte Schaden so wenig instructiv sei und nicht geeignet, um auf die wichtigsten seismischen Elemente einen sicheren Schluss zu erlauben. Die Infanteriekaserne zu Port Blair, auf der Höhe eines Hügels gelegen, deren Beschädigung noch am lehrreichsten ist, bildet ein langes, schmales Gebäude, mit der Längsachse N. 20° E. stehend, während die Quermauern E. 20° S. errichtet sind. Nur die letzteren waren stark geborsten, während mit einer einzigen Ausnahme sich nicht ein Riss in den Längsmauern zeigte. Das würde auf eine N. 20° E.- oder S. 20° W.-Richtung deuten. Was den Emersionswinkel betrifft, so ist aus den Spalten nicht viel zu entnehmen, sie lassen höchstens darauf schliessen, dass die Richtung entweder fast horizontal oder fast vertical war. Ersteres anzunehmen wird nahe gelegt durch die Thatsache, dass ein 60 engl. F. hoher Schornstein zwar Risse erhielt, aber nicht umfiel, wie es bei einem heftigen Stoss mit einem mässigen Emersionswinkel hätte geschehen müssen. Da diese Annahme aber mit der Lage des Epicentrums, wie sie aus zuverlässigeren Beobachtungen bestimmt werden konnte, unvereinbar sei, so meint Oldham, dass der Emersionswinkel fast horizontal gewesen und die Stärke des Stosses bedeutend übertrieben sei. Auf die Tiefe des Centrums lässt sich hieraus der Schluss ziehen, dass dieselbe nur eine geringe war, wahrscheinlich gegen 5 oder 10 Miles, jedenfalls nicht über 15 Miles unter der Oberfläche. Um

Digitized by Google

also noch einmal den Gegensatz hervorzuheben: Das submarine Erdbeben vom 31. Dec. 1881, welches sich über eine so ungeheure Fläche verbreitete, bestand aus einem Stoss von geringer Dauer und Intensität, der sich fast horizontal fortpflanzte, und doch war dasselbe von einer Fluthbewegung der Gewässer der Bai begleitet, die von einem Centrum ausgehend, in oscillirenden Ringwellen gegen die Küsten schlug. So viel ist klar, der Stoss war nicht „genügend kräftig", um auf ihn als Ursache die Wellenbewegung zurückführen zu können. Dieselbe Erwägung zwingt uns auch, uns gegen einen litoralen Ursprung des Phänomens zu erklären; von einer durch Niveauschwankung der Küste veranlassten Bewegung, sei sie positiver oder negativer Art, kann ernstlich gar nicht die Rede sein, sowohl im Hinblick auf die Fluthcurven vor Eintreffen der Störung als auch aus dem Grunde nicht, weil eine irgendwie messbare Hebung oder Senkung den mit der trigonometrischen Aufnahme und dem Nivellement gerade an der Küste beschäftigten Beamten nicht hätte entgehen können; waren doch zwei von ihnen, M. Rogers in Kisseraing und Mr. Rendell in der Nähe von False Point gerade in Thätigkeit.

Umgekehrt bedingt ein noch so heftiges litorales Erdbeben nicht etwa stets eine entsprechend grosse Fluthbewegung des Meeres, im Gegentheil, die Wasserfläche bleibt ruhig oder wenigstens in demselben Zustande wie zuvor. Zum Beweise dessen brauchen wir nur auf die ebenso zahlreichen wie mächtigen seismischen Äusserungen der südamerikanischen Westküste zu verweisen, zu denen die Anzahl der von dort bekannten Fluthwellen des Pacific in ganz geringem Verhältniss steht. Es mag hier an das auch von S. Günther (a. a. O., S. 376) und J. Roth (a. a. O., S. 13) erwähnte peruanische Erdbeben vom 30. März 1828 erinnert werden. In Lima erfolgte der erste heftige Stoss um $7^h\ 32^m$ a. m., welcher einen Theil dieser Stadt und Callao's in Trümmer legte. An letzterem Orte scheint der Stoss ein wenig später eingetroffen zu sein, denn man sah von hier aus den Staub sich über Lima erheben, bevor man das Erdbeben fühlte. In der Bai zischte das Wasser um das Schiff „*Volage*" herum auf, wie wenn man glühendes Eisen hineingetaucht hätte, seine Oberfläche bedeckte sich mit Blasen, welche beim Zerplatzen einen Geruch nach Schwefelwasserstoff verbreiteten, todte Fische schwammen um das Schiff. Das Meer, welches vorher ruhig und klar gewesen war, wurde trübe und aufgeregt; das Schiff rollte um 14 Zoll herüber und hinüber.

Digitized by Google

Beim Ankerlichten fand man, dass die Kette eine Art Schmelzung 50 m vom Schiff erfahren hatte.

Die erwähnten Erscheinungen an der Wasserfläche sind uns von anderen Beispielen her schon bekannt, von einer Wellenbewegung des Meeres im Gefolge des Erdbebens ist keine Rede (M. A. Br. 7, 1858, S. 87). La Barbinais le Gentil erlebte am 10. Febr. 1716 um 8^h p. m. in Neu-Pisco das schreckliche Erdbeben, welches in einem Augenblick alle Häuser zerstörte. Die Schiffe, welche im Hafen vor Anker lagen, wurden so heftig erschüttert, dass es schien, sie würden in Stücke fallen, die Kanonen fielen von den Laffetten, an den Masten zerrissen die Strickleitern, — und doch blieb das Meer ruhig, das Wasser erhob sich nicht im geringsten. Als auffallend wird hervorgehoben, dass im Gegensatz zur Längenausdehnung des Erdbebens von mehr als 100 Meilen von N. nach S. dasselbe nach W. nur 5 Meilen weit bemerkbar war (M. A. Br. 7, 1858, S. 27).

So stehen wir noch immer vor der offenen Frage und wollen zusehen, ob wir auf anderem Wege zur Lösung derselben etwas beitragen können. Zunächst wenden wir uns aber wieder unserem eigentlichen Thema zu.

An zweien von den sieben Tidencurven fällt noch eine Unregelmässigkeit auf, die der Erklärung bedarf und uns dem Verständniss der Frage der submarinen Erdbeben näher bringt. In dem Diagramm von Port Blair findet sich nämlich um die Zeit von $7^h\ 44^m$ a. m. und in dem von False Point bei $7^h\ 54^m$ a. m. ein kleiner senkrechter Strich, der die bis zu den angegebenen Zeitpunkten ganz regelmässigen Curvenlinien plötzlich, und zwar gerade zur Zeit des Eintreffens der Erdbebenwelle unterbricht; derselbe muss daher auch in ursächlicher Beziehung zu letzterer stehen. In den Begleitworten des Majors Rogers heisst es bei False Point: „Das Diagramm zeigt das Passiren der Erdbebenwelle oder der forcirten Meereswelle um $7^h\ 54^m$ a. m. an. Der Stift scheint einige Minuten hindurch eine kleine Strecke rapide auf und ab bewegt worden zu sein.“ Bei Port Blair bemerkt derselbe: „Das erste Anzeichen des Stosses ist um $7^h\ 42^m$ a. m. sichtbar (besser $7^h\ 44^m$ a. m. nach Oldham) und ich möchte dasselbe der Erdbebenwelle oder vielmehr der forcirten Meereswelle zuschreiben, welche sich bildet, wenn sie in flaches, seichtes Wasser eintritt, denn die Tidencurve bleibt noch mehrere Minuten später ungestört.“ Ist diese Linie in gleichem

Digitized by Google

Verhältniss wie alle Curven vom Original reducirt, so würde ihre Länge ungefähr 1 Zoll betragen, nach dem obigen Ausdruck halte ich es jedoch für sehr wahrscheinlich, dass dieselbe, um sie überhaupt kenntlich zu machen, übertrieben ist, auf dem Original auch wohl nur eine ganz kurze Strecke repräsentiren wird. Die sogen. forcirte Welle (forced sea wave) ist von Airy definirt worden und von R. Mallet meines Wissens zuerst in seiner Theorie der Erdbeben angewandt und zur Erklärung des Rückzugs des Wassers von der Küste vor Ankunft der grossen Fluthwelle benutzt worden. Seiner Ansicht nach geht ein Erdbeben, dessen Ursprung in dem Meeresboden liegt, so lange die Schütterwellen sich auf dem Boden selber unter der oceanischen Wassermasse ausbreiten, spurlos an der Oberfläche des Oceans vorüber. Erst wenn die Erdbebenwellen in mehr und mehr flaches Wasser gelangen, ruft die Undulation des Bodens eine entsprechende des Wassers hervor, indem sich über dem langen und flachen Erdbebenwellenberg ein ebensolcher auf dem Meeresniveau bildet. Diese von R. Mallet als „forced sea wave" bezeichnete Erhebung hat keine Eigenbewegung, sondern ist ein langer, niedriger Wasserrücken, der unmittelbar über dem Punkt des Bodens liegt, durch welchen die Erschütterung gerade hindurchgeht. Tritt nun die Erdbebenwelle mit grosser Geschwindigkeit vom Meeresboden an die Küste aufs Festland über, so wird die forcirte Welle plötzlich in sich zurückfallen, wodurch, so denkt sich Mallet den Vorgang, ein geringes Zurückweichen des Meeres von der Küste stattfinden würde. Ohne dieser Erklärung Mallet's irgendwie zustimmen zu wollen, müssen wir bemerken, dass in diesem Sinne die „forcirte Welle" von Rogers nicht aufgefasst sein kann, denn die beiden Diagramme weisen nicht die leiseste Spur von einem Zurücktreten des Meeres auf; es soll also wohl nur damit gesagt sein, dass die rasche Bewegung des Stifts nicht von der Fluthwelle herrührt, die erst einige Zeit darauf sich bemerkbar machte. Meinem Dafürhalten nach ist es die kurze, durch das Erbeben des Festen dem Meere mitgetheilte Stosswelle gewesen, welche den Fluthmesser in Vibrationen versetzte, in Folge dessen der Stift in eine rasche auf- und abwärts gehende Bewegung gerieth.

Zum besseren Verständniss dieses Vorganges wollen wir uns in kurzen Zügen die Hauptpunkte der Wellenbewegung und ihr Fortschreiten durch elastische Media vergegenwärtigen. Wir gehen dabei von der Eingangs gegebenen Definition aus und sehen in

Digitized by Google

einem Erdbeben nur die irgend einen Punkt der Oberfläche der Erdkruste erreichenden Schwingungen, welche durch einen oder mehrere Stösse in der Erde erzeugt sind. Ebenso müssen wir voraussetzen, dass die Erdkruste eine homogene Masse ist.

Bei der Schilderung der äusserlich wahrnehmbaren Wirkungen eines Seebebens sind uns zwei verschiedene Arten von Wellenbewegungen bekannt geworden, eine translatorische und eine oscillatorische. Die Wellen, welche sich an der Oberfläche des Wassers bilden, die Bedingungen ihrer Entstehung, die Gesetze, nach denen sie sich fortpflanzen und verändern, sind so oft und so ausführlich erörtert worden, dass wir hier füglich darüber hinweggehen können, weniger ist das der Fall gewesen mit den oscillirenden Stosswellen, die sich durch ein elastisches Medium wie das Wasser verbreiten, und gerade diese sind es, die uns hier allein interessiren.

Wird in einem Punktsystem das Gleichgewicht eines Punktes gestört, so muss es auch mit allen übrigen geschehen, wird also der erste Punkt in eine oscillirende Bewegung versetzt, so pflanzt sich diese in allen Punktreihen fort. Ist das Mittel, dem das Punktsystem angehört, ein homogenes und isotropes, so theilt sich die schwingende Bewegung nach allen Richtungen allen Punkten gleichmässig mit, d. h. dieselbe schreitet in Gestalt einer Kugel fort. Nach und nach bilden sich um den zuerst erregten Punkt als Centrum eine Reihe von Kugelschalen, deren Dicke, gleich der Differenz der Radien vom Centrum zur äussern und zur innern Fläche der Kugelschale, die Wellenlänge heisst, während diese letztere selber als Welle bezeichnet wird. In Flüssigkeiten können nun keine schwingenden Bewegungen entstehen, welche eine Änderung der Gestalt des Körpers bedingen, also keine transversalen Schwingungen, sondern nur longitudinale. Da das Wasser aber als Typus der tropfbar flüssigen Körper homogen und isotrop ist, so müssen die im Innern desselben erregten Wellen sich in Form von Kugelwellen ausbreiten. Um sich eine Vorstellung von der Entstehung und Ausbreitung solcher longitudinalen Schwingungen zu machen, denkt man sich gewöhnlich eine Kugel im Innern einer Flüssigkeit in rascher Folge sich ausdehnen und zusammenziehen. Die Vibration der Kugel geht nun über auf die zunächst anliegenden Flüssigkeitstheile, von denen sich die schwingende Bewegung auf eine immer grösser werdende Kugelfläche überträgt. Bei jeder Ausdehnung der Kugel erleidet die Flüssig-

Digitized by Google

keit eine Verdichtung, worauf beim Zusammenziehen eine Verdünnung der Flüssigkeitsschicht erfolgt. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der longitudinalen Wellen lässt sich für Wasser leicht berechnen, sie hängt ab von dem Quotienten $V\frac{e}{d}$, worin e die Elasticität und d die Dichtigkeit der Flüssigkeit bedeuten. Mit dem daraus gefundenen Werth von 1418 m stimmt der von Colladon und Sturm durch Experimente erhaltene von 1435 m ziemlich gut überein. Abweichend davon hat Lord Rayleigh (Theory of Sound I) einen etwas höheren Werth 1489 m gefunden.

Wenden wir nun diese Gesetze auf die Erdbebenschwingungen an, so wollen wir der Einfachheit wegen annehmen, der Ursprungsort des Erdbebens sei ein verhältnissmässig beschränkter Raum in der Erdkruste unter dem Ocean. Unter der Voraussetzung einer homogenen und isotropen Masse wird der durch irgend eine Ursache hervorgerufene Stoss sich in Gestalt von Kugelwellen durch das elastische Medium fortpflanzen. Trifft die Bewegung auf die Grenze zweier Mittel, also in in unserm Falle auf den Meeresboden, so geht eine Welle als reflectirte in das erste Medium zurück, jeder Punkt der Grenzschicht wird aber zugleich Mittelpunkt einer Welle, die in das zweite System, nur mit anderer Geschwindigkeit übertritt. In dem Wasser bildet sich somit eine neue Kugelwelle, die mit der oben angeführten Fortpflanzungsgeschwindigkeit in concentrischen Kreisringen an die Oberfläche des Oceans gelangt. Es ist mit vollem Recht in letzter Zeit betont worden, so z. B. von Pilar (Abyssodynamik, S. 135 Anmerk. 2), dass im grossen und ganzen die Bedingungen für ein centrales Erdbeben nur selten so vorhanden sein werden, dass sich eine Berechnung darauf basiren lässt; nur für solche submarine Erdbeben, die mit einer Fluthbewegung des Oceans verknüpft sind, glauben wir bis zu einem gewissen Grade daran festhalten zu müssen, worin uns die aus der Untersuchung über das Seebeben des bengalischen Meerbusens gewonnenen Resultate noch bestärkt haben. Allerdings liegen viele Anzeichen dafür vor, dass in den meisten Fällen die Erschütterungen sich auf Linien fortpflanzen, oder auf einer grösseren Fläche gleichzeitig stattfinden; wir verweisen zum Beweise dafür auf das ausgesprochen lineare submarine Erdbeben vom 22. Dec. 1884, welches im ersten Abschnitt ausführlich besprochen ist. Es drängt sich nun die Frage auf, wie gestaltet sich die Wellenfläche der Stosswelle des Meeres in einem solchen Falle? Da eine er-

Digitized by Google

schöpfende Behandlung dieses Gegenstandes uns zu weit führen würde und die Frage auch ausserhalb des Rahmens dieser Arbeit liegt, so wollen wir uns damit begnügen auf die Bedeutung derselben hinzuweisen und wenigstens andeuten, worauf es dabei ankommt.

Es kommen vor allem zwei Abhandlungen von E. B. Christoffel in Betracht: „Untersuchungen über die mit dem Fortbestehen linearer partieller Differentialgleichungen verträglichen Unstetigkeiten" (Annali di Matematica, VIII, S. 81) und „Über die Fortpflanzung von Stössen durch elastische feste Körper" (Annali di Matematica, VIII, S. 193). Der Verfasser hat seine Aufgaben, wie er selbst hervorhebt, der Mechanik entnommen und behandelt die Fortpflanzung von Stössen durch continuirliche Mittel von beliebiger Begrenzung: In dem ersten Abschnitt der erstgenannten Untersuchung werden die mechanischen Bedingungen für den Stoss zwischen Flüssigkeitstheilchen erörtert, die folgendes, wichtiges Resultat ergeben: „Solange die Unstetigkeitsfläche Σ im Innern der Flüssigkeit fortschreitet, bleibt sie orthogonale Trajectorie eines festen Normalensystems $\mathfrak{N}$, in welchem sie sich zur grösseren N mit der unveränderlichen Geschwindigkeit $\omega = \pm a$ fortbewegt. Dieses Normalensystem ist bestimmt durch die Anfangslage Σ_0 von Σ, und diese kann willkürlich angenommen werden." Darin bezeichnet Σ eine Unstetigkeitsfläche innerhalb einer Flüssigkeit, also eine Fläche, zu deren beiden Seiten der Druck, die Dichtigkeit und die Geschwindigkeitscomponenten verschiedene Werthe haben; über einem Element $d\Sigma$ dieser Fläche ist die Normale errichtet, in ihr werden Abscissen N gezählt, die von der negativen nach der positiven Seite hin wachsen. Ferner heisst es: „Solange $\Delta\Sigma$," — d. i. der Querschnitt eines unendlich dünnen Normalenbündels der Unstetigkeitsfläche mit Σ — „während es dieses Normalenbündel durchläuft, auf keinen Begrenzungstheil der Flüssigkeit trifft, bleibt der Stoss, den ein Flüssigkeitstheilchen in dem Augenblick erleidet, wo es von $\Delta\Sigma$ überschritten wird, zur Quadratwurzel aus $\Delta\Sigma$ umgekehrt proportional." Für die Reflexion des Stosses an starren Wänden ergiebt sich dasselbe Resultat. Die in der ersten Arbeit entwickelten Principien werden im zweiten Artikel auf die Fortpflanzung von Stössen durch elastische feste Körper angewandt. Für uns ist besonders der Nachweis wichtig, dass sich 1) „für die Fortpflanzung der Unstetigkeitsflächen durchaus die nämlichen Gesetze ergeben, welche aus der Optik für die Fortpflanzung der Licht-

Digitized by Google

wellen bekannt sind", und dass 2) „für die Brechung und Reflexion der Unstetigkeitsflächen die nämlichen Constructionen erhalten werden, welche Huygens für das Licht gefunden hat."

Setzen wir also den einfachsten Fall und nehmen wir an, eine irgendwie gestaltete Fläche des Meeresbodens, die entweder völlig eben sein mag oder auch Unregelmässigkeiten zeigen kann, wird gleichzeitig von der Erschütterung heimgesucht, so tritt die Welle in das flüssige Medium über als eine der Schütterfläche parallele Wellenfläche, da der Stoss sich von jedem Element der Fläche in der Richtung der auf demselben errichteten Normalen fortpflanzt. Wenn dagegen die Schwingungen einer Kugelwelle des erstens Mediums zu verschiedenen Zeitpunkten an der gekrümmten Grenzfläche eintreffen, so werden die Wellenstrahlen nach den bekannten Grundgesetzen gebrochen. Kennt man alsdann die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in beiden Medien, so lässt sich die neue Wellenfläche construiren. „Wird nämlich für jeden Punkt einer beliebigen Fläche die Zeit τ bestimmt, in welcher die Unstetigkeitsfläche Σ von ihrer (als bekannt vorauszusetzenden) Anfangslage Σ_0 aus dort eintrifft, und dann um ihn als Centralpunkt die Centralfläche $C_{t-\tau}$ gelegt, so hüllt die zur Zeit t stattfindende Unstetigkeitsfläche Σ diese Schaar von Centralflächen ein." (Ders. in Ann. di Matematica, VIII, S. 231.)

Welche physikalischen Eigenschaften hat nun diese Stosswelle?

1) Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist constant.
2) Die Amplitude der Schwingungen nimmt ab in dem Maasse wie der Raum wächst, durch welchen sie sich ausdehnen.
3) Die Wellenlänge, d. i. die Dicke der Welle, bleibt constant und ist eine Function der Zeit, die zu ihrer Erregung nöthig war.

Der erste Punkt ergiebt sich aus dem Umstande, dass die Wellen nur von der Elasticität des betreffenden Mediums abhängig sind.

Über die Amplitude der Erdbebenwellen besitzen wir seit einiger Zeit von J. Milne und A. Ewing (Nature, XXX, 1884, S. 174) genaue Angaben; dieselben sind aus den bis jetzt zuverlässigsten Beobachtungen über japanische Erdbeben gewonnen. Das Maximum der Amplitude in Millimetern ist, je nach der Beschaffenheit des Bodens, durch welchen die Erschütterung sich ausbreitet, sehr verschieden, für harten, festen Grund geringer als für weichen. Die-

Digitized by Google

551.2218 .R917 C.1
Ueber submarine Erdbeben und E
Stanford University Libraries
3 6105 031 354 082

551.2218
R917

	DATE DUE		

ADK 1679
EFK2160 9841

Digitized by Google